Mikko Lepistö

Nykyaikainen puutalo- ja puukerrostalorakentaminen Suomessa

Rakennesuunnittelijan näkökulma

Opinnäytetyö

Kevät 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Mikko Lepistö

Työn nimi: Nykyaikainen puutalo- ja puukerrostalorakentaminen Suomessa: Rakennesuunnittelijan näkökulma

Ohjaaja: Heikki Ylihärsilä

Vuosi: 2012 Sivumäärä: 49 Liitteiden lukumäärä: 4

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kertoa ja tutkia, mitä eri asioita rakennesuunnittelijan on huomioitava työskennellessään Suomen maankäyttö- ja rakennuslain ja Eurokoodien alaisuudessa hyvän rakennustavan mukaisesti, kun kyseessä on puutalon tai puukerrostalon suunnitteluprojekti. Lisäksi perehdytään puun ominaisuuksiin rakennusmateriaalina.

Työn tavoite on saada tiivis, ytimekäs ja mahdollisimman kokonaisvaltainen yleiskuva siitä, mitä tekijöitä rakennesuunnittelijan on huomioitava suunnitellessaan puutaloja ja puukerrostaloja. Puusta rakennusmateriaalina tavoitteena on kertoa olennaiset asiat, joita pitää ottaa huomioon, kun puuta käytetään rakenteissa.

Työssä käydään läpi lyhyesti rakennuspuun syntyminen ja puun olennaisimmat ominaisuudet rakentamisen kannalta. Suunnittelun kannalta tutkitaan, mitä lait ja määräykset velvoittavat ottamaan huomioon suunnitteluprojektissa Suomessa, kun kohteena on puutalo tai puukerrostalo. Lisäksi kerrotaan puutalojen ja puukerrostalojen rakenneratkaisuista.

Avainsanat: puu, puurakennukset, puutalo, puukerrostalo, rakennesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Mikko Lepistö

Title of thesis: Modern building of wooden houses in Finland: a structural designer's point of view

Supervisor: Heikki Ylihärsilä

Year: 2012 Number of pages: 49 Number of appendices: 4

The purpose of the thesis is to describe what a structural designer must notice, when working in subordination of the Finnish land use and building law and the Eurocodes when the object is the design project of a wooden house or a wooden block of flats. Furthermore, the properties of wood are studied as a building material.

It is the objective of the thesis to report shortly and succinctly what factors the structural designer must notice when designing wooden houses and wooden blocks of flats.

In the thesis, the birth of building timber and the essential properties of wood are briefly gone through. From the point of view of design, it is studied what the laws and regulations oblige to take into consideration in a design project in Finland, when the target is a wooden house or a wooden block of flats. Furthermore, the structural solutions of wooden houses and wooden blocks of flats are presented.

Keywords: wood, wooden buildings, wooden house, wooden block of flats, structural design

SISÄLTÖ

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Anisotrooppisuus Aineen lujuusominaisuudet ovat erilaiset eri suunnista tapahtuvaa kuormitusta vastaan. Pituus-, leveys- ja korkeussuunnassa ominaisuudet ovat erilaiset toisiinsa verrattuna. Puulla tämä tarkoittaa, että kohtisuoran poikkileikkaustason, poikkileikkauksen halkaisijatason ja vuosirenkaan tangenttitason suunnassa ominaisuudet ovat erilaiset toisiinsa verrattuna.

CLT-levy CLT-levy (cross laminated timber) koostuu ristiinliimatuista puulevykerroksista. Puulevyt koostuvat massiivipuusta. CLT-levy on toisin sanoen massiivipuulevy. Levyssä toteutuvat samanaikaisesti kantavien rakenteiden kantavuus ja jäykkyys.

Epähomogeeninen Materiaalissa materiaalin rakenne ei ole tasalaatuista. Kappaleen ominaisuudet ja rakenne eivät ole tasalaatuista, vaikka kappaleen sisältö koostuisikin samasta materiaalista.

Kondenssi-ilmiö Tietyssä lämpötilassa ilmassa voi olla vesihöyryä tietty määrä. Kun lämpötila laskee, vesihöyryn suurin teoreettinen määrä laskee myös. Näin ollen yli jäävä höyrymäärä tiivistyy nesteeksi.

Platform Rakennustapa, jossa kantava seinärakenne kootaan ja pystytetään aina sen kerroksen lattialta, jonne seinärakenne tulee. Ensimmäisessä kerroksessa seinät kootaan ja pystytetään alapohjan päältä. Sen jälkeen seuraavissa kerroksissa kokoaminen ja pystytys tapahtuvat aina valmiiksi levytetyn välipohjan päältä.

RunkoPES PES tulee sanoista PuuElementti Systeemi. PES on puutuoteteollisuuden toimeksilaittama teollisen puuelementti-

rakentamisen yhtenäistä mitoitus- ja liitosjärjestelmää koskeva teollisuusstandardi. Siinä sovitaan mittamoduulit, liitosperiaatteet ja perusrakenne-ratkaisut. Niiden mukaan eri valmistajien tuotteet ja ratkaisut ovat yhteensopivia.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tarkoitus

Suomessa puu on aina ollut merkittävä rakennusmateriaali. Aikoinaan puusta valmistettiin ylväitä pohjalaistaloja ja käytännöllisiä rintamamiestaloja. Nykyään, tekniikan kehityttyä ja tietämyksen lisäännyttyä, monikerroksisten puukerrostalojen tekeminen on tullut yhä suositummaksi. Työn tarkoitus on tutkia ja kertoa, mitä eri asioita rakennesuunnittelijan on huomioitava työskennellessään Suomen maankäyttö- ja rakennuslain ja Eurokoodien alaisuudessa hyvän rakennustavan mukaisesti, kun kyseessä on puutalon tai puukerrostalon suunnitteluprojekti. Lisäksi perehdytään puun ominaisuuksiin rakennusmateriaalina.

1.2 Työn tavoite

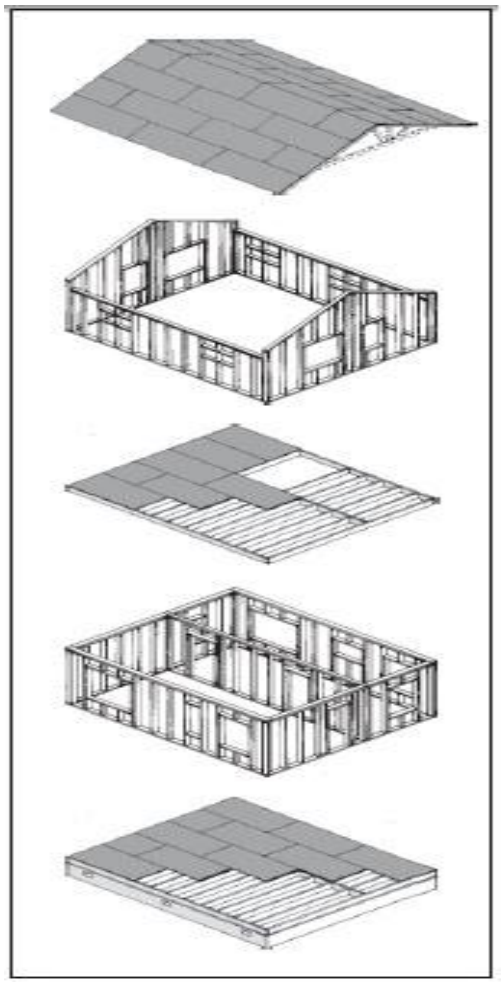
Työn tavoite on saada tiivis, ytimekäs ja mahdollisimman kokonaisvaltainen yleiskuva siitä, mitä tekijöitä rakennesuunnittelijan on huomioitava suunnitellessaan puutaloja ja puukerrostaloja. Puusta rakennusmateriaalina tavoitteena on kertoa olennaiset asiat, joita pitää ottaa huomioon, kun puuta käytetään rakenteissa. Työn tilaaja on Seinäjoen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan koulutusohjelma ja työn tekeminen ajoittuu kevääseen 2012.

2 NYKYAIKAISTEN PUUTALOJEN TAUSTAA

2.1 Historiaa

Ensimmäisiä nykyaikaisia rankorakenteisia seiniä on Suomessa käytetty 1800-luvun puolivälissä Turun saariston huviloissa. Puutavaraa säästävä rankorakenteinen rakennejärjestelmä (Kuvio 1) kehittyi, kun puun hinta nousi ja sahateollisuuden tuotevalikoima lisääntyi. Rakennetta pystyttiin soveltamaan ympärivuotiseen käyttöön, kun seinien lämmöneristeenä ryhdyttiin käyttämään sahanpurua ja kutterinlastuja. Hirsi oli kuitenkin puutalon yleisin materiaali Suomessa aina 1940-luvulle asti. 1950- ja 1960-luvulla tapahtunut vesijohtojen ja viemäröinnin yleistyminen mahdollisti pesutilojen ja WC:n sijoittamisen asuinrakennuksiin, jolloin myös kosteat olosuhteet tulivat sisätiloihin lähelle puurakenteita. Maanvaraiset betonilaatat tulivat alapohjaratkaisuihin, huonekorkeus standardisoitiin 2,5 metriin ja kattojen kaltevuus loiveni aina tasakattoon asti. (Siikanen 2000, 74.)

Ensimmäiset nykyaikaiset puukerrostalot tehtiin Suomeen vuonna 1996 Ylöjärvelle ja vuonna 1997 Viikkiin sekä Ouluun (Siikanen 2008, 19). Suomessa puukerrostalot ovat nykyään uusi vaihtoehto betonisille kerrostaloille, kun taas Pohjois-Amerikassa puuta on käytetty kerrostalojen rakennusmateriaalina monipuolisesti jo toistasataa vuotta käyttäen rakennustapana niin sanottua *platform*-tekniikkaa. Ulkomailta saatujen kokemusten mukaan kerrostalojen rakentaminen edullisemmin puusta kiviaineen sijaan on mahdollista edellyttäen, että Suomessa opitaan hallitsemaan puisten kerrostalojen rakennustapa. Suomessa puuta on viime vuosikymmeninä käytetty ainoastaan pienen kokoluokan rakennuksiin, vaikka puun asema on aina ollut keskeinen suomalaisessa rakentamisessa. Betonielementtijärjestelmien syntyminen 1960-luvulla on syrjäyttänyt puun käytön rakennuksissa suurimmaksi osaksi, mutta nykyään puun käyttö on taas lähtenyt kasvuun. (Koiso-Kanttila 2000, 106–107.)



Kuvio 1. Nykyaikaisen puutalon rankorakenteen periaatekuva
(Viljakainen, Alppi, Lahtela & Valkama 2004, 11).

2.2 Aikaisempia tutkimuksia

Ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa (www.theseus.fi) on julkaistu muutamia opinnäytetöitä liittyen rakennesuunnitteluun. Nämä opinnäytetyöt ovat olleet yleisesti ottaen tiettyihin kohteisiin tehtyjä rakennesuunnitelmia. Opinnäytetyöt ovat kuitenkin liittyneet suurimmaksi osaksi betonisiin kerrostaloihin. Puutalojen rakennesuunnitteluun liittyviä opinnäytetöitä oli harvassa ja ne ovat liittyneet paremminkin hirsitaloihin. Puutalojen rakennesuunnittelusta yleisesti kertovia opinnäytetöitä ei ollut ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa julkaistuna tätä opinnäytetyötä tehtäessä.

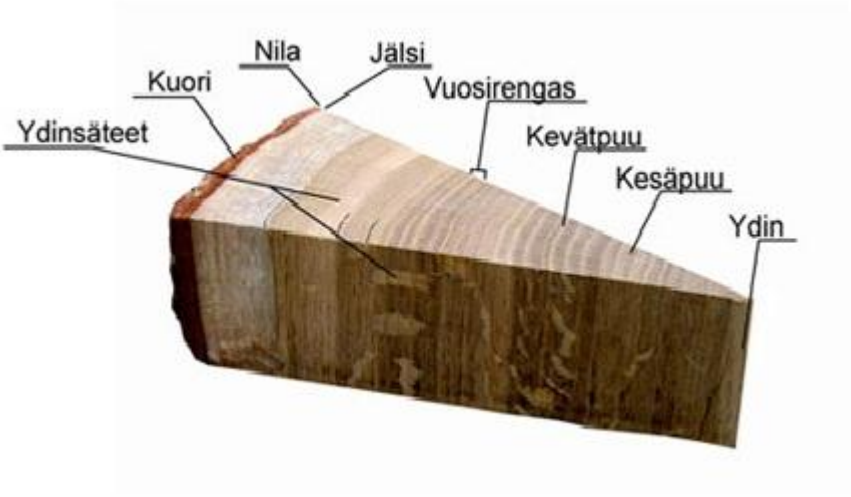
Kirjallisuutta puusta rakennusmateriaalina ja puutalojen rakennesuunnittelusta on saatavilla kiitettävästi. On julkaistu muun muassa puusta kertovia kirjoja, joissa

kerrotaan puun käytöstä rakennusmateriaalina. Lisäksi on puurakennusten suunnittelusta kertovia kirjoja ja suunnitteluohjeita sisältävää kirjallisuutta. Tässä opinnäytetyössä on esimerkiksi käytetty lähteinä puurakenteiden suunnittelijalle tarkoitettua suunnittelukäsikirjaa ja puun käyttöä rakennuksissa tutkineen asiantuntijan kirjoittamaa kirjaa. Kirjallisuutta on tullut lisää sitä mukaa, kun uutta tietoa puurakentamisesta on tullut ja vanhaa tietoa päivitetty.

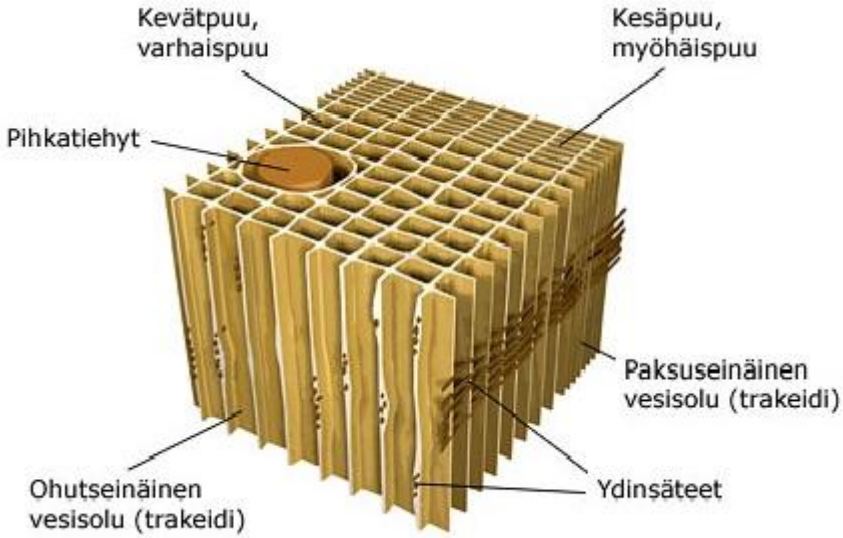
3 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

3.1 Puun rakenne ja rakennuspuun syntyminen

Puu voidaan jakaa kolmeen rakenneosaan: juuret, runko ja lehvästö. Juurten päätehtävät ovat puun ankkuroiminen maaperään ja veden sekä ravinteiden imeminen maaperästä puun eri osiin. Lehvästön lehtien ja havujen tehtävä on vangita auringon valoa ja sen avulla yhteyttää happea. Rakentamisen kannalta tarpeellisin puun osa on runko (Kuvio 2). Rungon tehtävänä puussa on kuljettaa vettä ja ravinteita juurten ja lehvästön välillä. Rungossa tapahtuu myös puun kasvaminen jälsivyöhykkeessä ja näin ollen puuaineksen syntyminen tapahtuu samassa vyöhykkeessä. Puu koostuu soluista, jotka ovat sijoittuneet rungon pituussuunnan mukaisesti (Kuvio 3). Solujen koostumus ja rakenne on kaikilla puulajeilla samantapainen. Puussa on kahdenlaisia soluja: suippusoluja ja tylppysoluja. Suippusolut ovat pitkiä, kapeita ja päistään suppenevia. Täysikasvuisina ne ovat kuolleita ja niiden tehtävä on silloin johtaa vettä ja toimia puuta tukevina soluina, joita nimitetään tällöin vesisoluiksi. Niiden pituus on 1–5 millimetriä. Tylppysolut ovat pyöreähköjä ja ohutseinäisiä puun pinnassa sijaitsevia ravintoaineita varastoivia soluja. Tylppysolut tai tylppysolut ja vesisolut yhdessä muodostavat rungon säteen suuntaisia ydinsäteitä, jotka huolehtivat puun poikkisuuntaisista virtauksista. Havupuilla on lisäksi sekä pituus- että poikkisuunnassa soluista muodostuvia pihkatiehyitä, joissa muodostuu pihkaa rauhassoluista. (Siikanen 2008, 22–26.)



Kuvio 2. Puun rungon poikkileikkaus
(Puuproffa.fi, [Viitattu 3.4.2012]).



Kuvio 3. Havupuun solukkorakenne
(Puuproffa.fi, [Viitattu 5.4.2012]).

Rakennuspuuksi soveltuu parhaiten hitaasti kasvanut keski-ikäinen puu. Kasvuolosuhteet vaihtelevat hieman puulajeittain. Olosuhteet yleisesti ottaen, joissa puusta kasvaa hyvälaatuinen rakennuspuu, ovat yleensä puun kasvulle epämiellyttävät. Puu joutuu tällöin taistelemaan selviytyäkseen. Tällöin se kasvaa kituen, tuottaen ohuita vuosirenkaita ja kurkottamaan korkealle saadakseen osansa niukasta auringon valosta. Näissä olosuhteissa puu saavuttaa hyvät rakennuspuun ominaisuudet eli lujuuden, suoruuden ja oksattomuuden. Iältään parasta rakennuspuuta on yleensä keski-ikäinen puu. Eli ei liian nuori eikä yli-ikäinen jo kasvun-

sa lopettanut puu. Tärkeimpiä rakennuspuita ja eniten kantavissa rakenteissa käytettyjä puita Suomessa ovat havupuut mänty ja kuusi. (Metsälä 2001, 12–16.)

Männyn osuus Suomen metsien puuston tilavuudesta on noin 51 % ja mäntymetsiä on metsämaan alasta noin 66 %. Kuusen tilavuus puustosta on vastaavasti noin 30 % ja metsäalasta kuusimetsää on noin 24 %. Männyn lujuusominaisuudet ovat hyvät ja se soveltuu käytettäväksi kaikkiin kohteisiin, kunhan sille ei aseteta erityisen suuria kosteuden- ja kulutuksenkestovaatimuksia. Kuusi on lujuusominaisuuksiltaan hieman mäntyä heikompaa, mutta se on sitkeämpää. Kuusen kosteuseläminen ja kosteuden imeminen ovat mäntyä pienemmät ja kuusi on mäntyä pehmeämpää. Männyn taipumus kieroutua on kuusta pienempi. Kuusi täytyykin ennen käyttöä kuivattaa mahdollisimman hyvin lopulliseen kosteuteen kieroutumisen vähentämiseksi. Kuusi kestää hyvin kosteuden vaihtelua, mutta se halkeilee helposti. Kuusessa on pienemmät oksat kuin männyssä. Männyssä on oksia kuitenkin vähemmän ja siitä voi saada oksatonta puutavaraa. Kuusesta sitä ei voi saada. (Siikanen 2008, 33–34.)

3.2 Puun monipuoliset ominaisuudet mahdollistavat monipuolisen käytön

Nykymaailmassa puuta on pitkään pidetty vaikeana materiaalina, koska se on orgaanista ainetta ja sillä on rakennekäyttöön vaikuttavia heikkouksia, kuten kosteuselämistä ja halkeilua. Puun ominaisuuksien hallinta, muun muassa oksaisuus, kosteus ja eri puulajien keskinäinen erilaisuus, on ollut vaikeaa ilman täsmällisiä keinoja. Tästä johtuen puurakenteiden tekninen luokitus on ollut vaikeaa. Liimapuutekniikan, työstökoneiden kehittymisen ja esivalmistusmenetelmien myötä puun lujuusluokituksesta on kuitenkin tullut mahdollista. Nyt käytettäessä rakenteissa puuta sitä on mahdollista saada lujuusluokiteltuna (Taulukko 1) ja mittatarkkana samalla tavalla kuin käytettäessä terästä tai betonia. (Suonto 2000, 35.)

Taulukko 1. Muutamia sahatavaran ja liimapuun lujuusluokkia ja materiaalien ominaisarvoja
(Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu: Lyhennetty suunnitteluohje 2011, 17).

Lujuusluokka		Sahatavara			Liimapuu	
		C18 (T1)	C24 (T2)	C30 (T3)	GL28c	GL32c
Ominaislujuudet (N/mm²)						
Taivutus	$f_{m,k}$	18	24	30	28	32
Veto	$f_{t,0,k}$	11	14	18	16,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
Puristus	$f_{c,0,k}$	18	21	23	24	26,5
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5	2,7	2,7	3,0
Leikkaus	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	2,7	3,2
Jäykkyysominaisuudet (N/mm²)						
Kimmomoduuli	E_{mean}	9000	11000	12000	12600	13700
	$E_{90,\ mean}$	300	370	400	390	420
Liukumoduuli	G_{mean}	560	690	750	720	780
Tiheydet (kg/m³)						
Ominaistiheys	ρ_k	320	350	380	380	410
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	380	420	460	430	470

Puun käyttö rakennuksissa on perustunut vuosisatojen ajan kokemuksiin puun hyvistä ominaisuuksista. Niitä ovat mm. suhteellinen keveys, helppo työstettävyys, monipuoliset liittomahdollisuudet, taloudellisuus, terveydellisyys, ekologisuus ja saatavuus. (Siikanen 2008, 8.)

Anisotrooppisuus on piirre, joka vaikuttaa puun kantokykyyn. Anisotrooppisuudesta johtuen puun kantokykyyn vaikuttaa suuresti se, kantaako puu syiden suunnassa vai kohtisuoraan niitä vastaan. Kantokykyyn vaikuttaa myös oleellisesti puun *epähomogeenisuus* eli puussa olevat oksat ja vioittumat. Näin ollen puurakenteen kantokyky määräytyy sen heikoimman eli viallisen kohdan mukaan, vaikka puu olisikin joiltain kohdin lujaa. Kolmas oleellinen puun piirre on kosteusriippuvuus ja siitä aiheutuva halkeilu. Vaneri, kertopuu ja liimapuu ovat kehitettyjä tuotteita, joilla puun edellä mainittuja heikkouksia on mekaanis-teknisillä muunnoksilla parannettu. Liimaustekniikka on antanut mahdollisuuden kasvattaa puun ulottuvuuksia rakenteissa. Näin ollen puun pituudella ja paksuudella ei enää olekaan teoreettista ylärajaa. (Paloheimo 2000, 52–53.)

Rakennuspuulta vaadittavia lujuusominaisuuksia ovat kimmoisuus, puristuslujuus, taivutuslujuus, leikkauslujuus ja kulutuksenkestävyys. Puun tiheydellä on keskei-

nen vaikutus puun lujuuteen ja kimmoisuuteen. Puun kuivuessa kimmomoduuli yleensä kasvaa. Puun puristuslujuus on noin puolet puun vetolujuudesta syiden suunnassa. Syitä vastaan kohtisuorasti puristuslujuuteen vaikuttaa, kuinka puristava voima kohdistuu puuhun. Puun vetolujuus on 10–20 kertaa suurempi syiden suunnassa verrattuna syitä vasten kohtisuoraan suuntaan. Taivutuslujuus on yhtä suuri kuin vetolujuus virheettömällä puulla. Leikkauslujuuteen vaikuttavat leikkaavan voiman suunta ja leikkaustason suuntaus puun rakenteen pääsuuntiin nähden. Puun kulutuskestävyyteen vaikuttaa oleellisesti puun kovuus. Puulajit lajitellaan kovuuden perusteella neljään ryhmään: erittäin kovat, kovat, pehmeät ja erittäin pehmeät puulajit. Mänty ja kuusi kuuluvat ryhmään pehmeät puulajit. (Siikanen 2008, 46–48.)

Puun hyvät lämpötekniset ominaisuudet ovat yksi syy, miksi puu on suosittu rakentamisessa. Puu on rakenteeltaan huokoista materiaalia, joten se johtaa huonosti lämpöä. Betoni johtaa lämpöä jopa 12 kertaa enemmän ja mineraalivilla kolmasosan puuhun verrattuna. Puun tiheys ja kosteus vaikuttavat lämmönjohtokykyyn. Mitä kosteampaa ja tiheämpää puu on, sitä paremmin se johtaa lämpöä. Puun lämpölaajeneminen vähäistä ja yleensä kosteuseläminen kompensoi sen vaikutukset. (Siikanen 2008, 44–45.)

3.3 Puun ongelmat

Puussa esiintyvät viat vaikuttavat rakennuspuun lujuuteen. Vikoja rakennuspuun näkökulmasta ovat muun muassa oksaisuus, syyhäiriöt, halkeamat ja lahoviat. Oksat alentavat puun lujuutta, koska niiden syysuunta on kohtisuorassa puun syitä vasten ja näin luovat epäsäännöllisyyttä puun rakenteeseen. Kun puun syyt poikkeavat toisinaan normaalista rungon suuntaisesta järjestyksestä, se heikentää puun lujuutta. Tämä syyhäiriö voi aiheuttaa puussa kierteisyyttä. Nämä kierteisyyttä aiheuttavat vinosyyt heikentävät jo pieninä määrinä puun kestävyyttä. Puuhun syntyy halkeamia yleensä kosteuselämisen ja ulkoisten kuormien aiheuttamina. Halkeamat heikentävät puun lujuutta ja vaikeuttavat puun täysimääräistä käyttöä. Lahoviat ovat erilaisten bakteerien ja sienten aiheuttamia. Laho pehmentää ja heikentää puuainesta ja näin siis vaikuttaa puun lujuuteen. (Siikanen 2008, 27–32.)

Sahojen tuotantoprosessien automatiikka ja pitkälle tehostettu sahaustekniikka ovat mahdollistaneet tehokaan ja optimaalisen sahauksen, jossa puumateriaali hyödynnetään tehokkaasti. Tästä kehityksestä huolimatta esimerkiksi säteittäisesti sahattua puutavaraa ei juurikaan valmisteta. Kuivuessaan vuosirenkaiden tangentin suuntaisesti sahattu puu pyrkii käpertymään. Ilmiö johtuu siitä, että kuivumiskutistuma on erilainen säteen ja tangentin suunnassa. Tämä käpertyminen on seuraus, josta kärsitään valmistusprosessin tehokkuuden takia. Poikkileikkaukseltaan muuttuvaa sahatavaraa olisi tällä hetkellä todella vaikea valmistaa, mutta tulevaisuudessa sekin voi tulla mahdolliseksi. Tällä hetkellä on tyydyttävä tasapaksuihin ja muuttumattomiin poikkileikkauksiin. (Paloheimo 2000, 53.)

Anisotrooppisuudesta johtuen puun kosteuseläminen, eli kutistuminen ja turpoaminen, on erilaista puun pituus- ja poikkisuuntaan. Tärkeimpien rakennuspuiden männyn ja kuusen pituussuuntainen kutistuminen puun kuivuessa on 0,2–0,3 %. Rakennesuunnittelussa tällä ei ole niinkään väliä. Sen sijaan puun poikkisuuntainen kosteuseläminen on otettava huomioon rakennesuunnittelussa ja yksityiskohtien suunnittelussa. Kutistuminen puun säteen suunnassa on noin 4 % ja tangentin suunnassa noin 8 %. Tilavuuskutistuminen on noin 12 %. Puu pyrkii aina asettumaan ympäröivää ilmankosteutta vastaavaan tasapainokosteuteen. Tämän takia on tärkeää, että puutavara kuivatetaan mahdollisimman lähelle kosteustilaa, jossa puutavara lopullisesti tulee olemaan. Näin vältetään liika kosteuseläminen. (Siikanen 2008, 43–44.)

3.4 Puussa muodostuu palosuojaus itsessään

Kun puuta lämmittää, sen rakenne alkaa pehmetä kuivassa puussa noin +180 °C:n lämpötilassa ja puu pehmenee aina +320 – +390 °C:een asti. Kostea puu alkaa pehmetä jo alhaisemmissa lämpötiloissa. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi muun muassa massiivipuun taivuttamisessa. Puu on palavaa materiaalia. Puu syttyy palamaan tietyllä aikavälillä riippuen puun lämpötilasta. Kun happea on riittävästi, puu syttyy esimerkiksi +180 °C:ssa 15–20 minuutissa ja +430 °C:ssa 0,5 minuutissa. Puun pintaan muodostuu palosuojaus palossa. Puun pintaan muodostuu hiilikerros, joka hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja palon etenemistä

kohti sisäosia. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi kantavien rakenteiden palomitoituksessa. Kun tiedetään, kuinka nopeasti palo etenee puussa, se voidaan huomioida mitoituksessa. Esimerkiksi massiivipuun palamisnopeus on 0,8 mm/min. (Siikanen 2008, 48.)

4 LÄHTÖKOHDAT PUUTALON SUUNNITTELUUN

4.1 Miten puutaloon ja sen suunnitteluun tulisi suhtautua

Ihmisen ensisijainen syy rakentaa on tarve suojautua ympäristöltä ja sen vaikutuksilta sekä suojata omaisuuttaan. Ympäristötekijä, jolta halutaan suojautua, on ilmasto. Rakennelmia kuormittavat monet ilmastotekijät, kuten kylmyys ja kuumuus, auringonpaiste, usva, sade, lumi ja tuuli. Rakennesuunnittelijan kannalta merkittävimmät rasitukset rakenteissa aiheuttaa kuitenkin gravitaation aiheuttamat kuormat ja muut staattiset ja dynaamiset kuormat ja jännitykset. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on suunnitella rakenteet siten, että ne pystyvät taloudellisesti mahdollisimman hyvin vastaanottamaan luonnon niihin kohdistamat rasitukset ja samalla vastaamaan ihmisen sosiaalisiin vaatimuksiin. (Siikanen 2008, 129.)

Puutalon suunnittelun määrästä ja laadusta ei saa tinkiä, sillä sen suunnittelu on vaativa ja työläs tehtävä. Suunnitteluvaiheessa määräytyy puutalon laatu, ikä ja kustannukset. Puurakennuksen viehätys syntyy osittain materiaalin aitouden korostamisesta. Materiaalina puu on myös poikkeuksellinen siinä mielessä, että se voi samalla antaa sekä keveän että jykevän vaikutelman. Vaikutelma saadaan aikaan, kun massiivisia puuosia täydennetään kevyillä herkästi detaljoiduilla puuosilla, kuten ikkunoilla tai peitelaudoilla. (Heikkinen 2000, 97–103.)

Sotien jälkeisessä jälleenrakennusvaiheessa puuta käytettiin paljon, koska sitä pidettiin ekologisena ja sitä oli runsaasti saatavilla. Ekologiset syyt puoltavat puurakentamista nykyäänkin ja puulla pitäisi korvata laajalti muut rakennusaineet. Vaikka halua ja kiinnostusta puukerrostalojen rakentamiseen nykyään on, ongelmana on ollut rakennusmääräysten ajantasaisuuden puute ja sopivan teknisen rakentamisosaamisen puute. Rakennusmääräyksiä on sittemmin päivitetty. Samalla on jouduttu etsimään vastauksia sellaisiin palo-, ääneneristys- ja kosteusteknisiin ongelmiin, joita ei ole aiemmin tutkittu eikä tiedostettu. (Koiso-Kanttila 2000, 106.)

Tavanomaisiin betonikerrostaloihin verrattuna nykyaikainen rankorakenteinen puukerrostalo on paljon monimutkaisempi rakenteeltaan. Tavanomaisessa betoni-

kerrostalossa massiiviset betoniseinät ja -välipohjat toteuttavat sellaisenaan samanaikaisesti rakenteiden kantavuuden, ääneneristävyyden ja palonkestokyvyn. Puukerrostaloissa rakenneosat on tehtävä monikerrosrakenteina, että ne toteuttaisivat samanaikaisesti kaikki kolme edellä mainittua vaatimusta. Silti puukerrostalot ovat yksinkertaisia ja helppoja suunnitella ja toteuttaa, vaikka niiden rakenteiden toiminta onkin monimutkaista. Lisäksi rungon pystytys on nopea vaihe, jos logistiikka pelaa hyvin. Tällöin päästään myös nopeasti säältä suojaan ja varmistamaan, etteivät rakenteet kastu ja materiaalit pilaannu. Puukerrostalon paino on vain 20–25 % vastaavan valmiin betonikerrostalon painosta. Täten perustuksien ei tarvitse olla niin massiivisia puukerrostaloilla, kun runkokin on kevyempi. Myöskään työmaan nosturikaluston ei tarvitse olla järeää, koska puiset rakennusosat ovat kevyempiä nostaa rakennusvaiheessa. (Koiso-Kanttila 2000, 115–120.)

4.2 Suomen maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee lähtökohdat

Rakentamista ohjailee laki niin kuin monia muitakin ammattialoja Suomessa ja maailmalla. Suunnittelijan on noudatettava työssään lakia ja sen asetuksia, sekä muita lain antamia määräyksiä ja ohjeistuksia lain edellyttämällä tavalla. Tässä luvussa esitellään muutamia Suomen maankäyttö- ja rakennuslain lakitekstejä yleiskuvan saamiseksi siitä, kuinka laki ohjailee suunnittelua ja yleensä rakentamista. Suomen maankäyttö- ja rakennuslaki on tärkein rakentamiseen liittyvä laki ja se on tullut voimaan 1.1.2000. Lain yleinen tavoite on esitetty seuraavasti.

> Tämän lain tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävää kehitystä.
>
> Tavoitteena on myös turvata jokaisen osallistumismahdollisuus asioiden valmisteluun, suunnittelun laatu ja vuorovaikutteisuus, asiantuntemuksen monipuolisuus sekä avoin tiedottaminen käsiteltävinä olevissa asioissa. (L 5.2.1999/132.)

Lain soveltamisalasta on päätetty.

> Alueiden suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä on noudatettava tämän lain säännöksiä, jollei erikseen toisin säädetä.

Tarkempia säännöksiä ja määräyksiä alueiden suunnittelusta, rakentamisesta ja käytöstä voidaan antaa asetuksella, ministeriön päätöksellä ja kunnan rakennusjärjestyksellä siten kuin jäljempänä säädetään.

Tässä laissa ja sen nojalla säädetään ja määrätään myös rakennusalan tuotteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä annetussa neuvoston direktiivissä 89/106/ETY, jäljempänä rakennustuotedirektiivi, tarkoitetuista rakennusta ja muuta rakennuskohdetta koskevista olennaisista vaatimuksista sekä direktiiviin perustuvista rakennustuotteille asetetuista vaatimuksista.

Tässä laissa ja sen nojalla säädetään niin ikään rakennusten energiatehokkuudesta annetussa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2002/91/EY tarkoitetusta rakennuksen energiatehokkuuden laskemisesta sekä energiatehokkuutta koskevista vaatimuksista ja niiden soveltamisesta uuden rakennuksen rakentamiseen ja olemassa olevan rakennuksen korjaus- ja muutostyöhön. (13.4.2007/488)

Rakennuksen energiatodistuksesta ja rakennuksen ilmastointijärjestelmän kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta on voimassa, mitä erikseen säädetään. (13.4.2007/488) (L 5.2.1999/132.)

Suunnittelijaa koskevista asioista, jotka liittyvät hankkeen vaativuuteen ja suunnittelijan pätevyyteen, on säädetty seuraavaa.

Rakennus- ja erityissuunnitelman laatijalla sekä rakennustyön vastaavalla työnjohtajalla ja erityisalan työnjohtajalla tulee olla rakennushankkeen laadun ja tehtävän vaativuuden edellyttämä koulutus ja kokemus.

Suunnittelussa tarvittavaa kelpoisuutta arvioidaan rakennuksen ja tilojen käyttötarkoituksen, kuormitusten ja palokuormien, suunnittelu-, laskenta- ja mitoitusmenetelmien, ympäristövaatimusten sekä suunnitteluratkaisun tavanomaisesta poikkeamisen perusteella. Rakennustyön johtamisessa tarvittavaa kelpoisuutta arvioidaan edellä säädetyn lisäksi myös rakentamisolosuhteiden ja työnsuorituksessa käytettävien erityismenetelmien perusteella.

Rakennuksen suunnittelu- ja työnjohtotehtävät voidaan jakaa vaativuusluokkiin tarvittavan vähimmäiskelpoisuuden määrittämiseksi. Vähimmäiskelpoisuudesta säädetään asetuksella ja tarkemmat määräykset ja ohjeet annetaan Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. (L 5.2.1999/132.)

> Rakentamista koskeva suunnitelma on laadittava siten, että se täyttää tämän lain ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten sekä hyvän rakennustavan vaatimukset.
>
> Rakennuksen suunnittelussa tulee olla suunnittelun kokonaisuudesta ja sen laadusta vastaava pätevä henkilö, joka huolehtii siitä, että rakennussuunnitelma ja erityissuunnitelmat muodostavat kokonaisuuden, joka täyttää sille asetetut vaatimukset (pääsuunnittelija).
>
> Kustakin erityissuunnitelmasta vastaava henkilö huolehtii siitä, että suunnitelma täyttää sille asetetut vaatimukset. Jos erityissuunnitelman on laatinut useampi suunnittelija, näistä yhden tulee olla nimetty tämän erikoisalan kokonaisuudesta vastaavaksi suunnittelijaksi. (L 5.2.1999/132.)

Maankäyttö- ja rakennuslaissa esitettyjä asioita on tarkennettu maankäyttö- ja rakennusasetuksessa. Asetus on tullut voimaan 1.1.2000. (A 10.9.1999/895.)

4.3 Suomen rakentamismääräyskokoelmassa annetaan teknisiä määräyksiä ja ohjeita rakentamisesta

Rakentamismääräyskokoelma on Suomen ympäristöministeriön julkaisema. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on säädetty rakentamismääräyskokoelmasta seuraavaa.

> Asianomainen ministeriö antaa tätä lakia täydentäviä rakentamista koskevia teknisiä ja näitä vastaavia yleisiä määräyksiä ja ohjeita, jotka julkaistaan Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. Ministeriö myös huolehtii valtion viranomaisten antamien rakentamista koskevien määräysten yhteensovittamisesta. Määräyskokoelmaan voidaan ottaa myös muun lainsäädännön nojalla annettuja rakentamista koskevia määräyksiä.
>
> Rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat velvoittavia. Ohjeet sen sijaan eivät ole velvoittavia, vaan muitakin kuin niissä esitettyjä ratkaisuja voidaan käyttää, jos ne täyttävät rakentamiselle asetetut vaatimukset.
>
> Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat uuden rakennuksen rakentamista. Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä määräyksiä sovelletaan, jollei määräyksissä nimenomaisesti määrätä toisin,

> vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa edellyttävät. (L 5.2.1999/132.)

Maankäyttö- ja rakennusasetuksessa rakentamismääräyskokoelmasta on säädetty.

> Suomen rakentamismääräyskokoelmasta on voimassa, mitä Suomen säädöskokoelmasta annetussa asetuksessa (696/1980) säädetään ministeriön antamista päätöksistä.

> Valtion muiden viranomaisten antamien talonrakentamista koskevien määräysten tulee olla sopusoinnussa rakentamista yleisesti koskevien Suomen rakentamismääräyskokoelmassa julkaistujen rakentamismääräysten kanssa. Näistä poikkeavia määräyksiä valmisteltaessa asiasta on pyydettävä ympäristöministeriön lausunto. (A 10.9.1999/895.)

Rakentamismääräyskokoelma on jaettu seitsemään osa-alueeseen A:sta G:hen. Lisäksi Eurokoodeja käsittelevä osa on vielä erikseen. Käytännössä rakennesuunnittelijan on työskenneltävä näiden määräysten ja ohjeiden mukaan suunnitteluprojektissa.

Jaotus on seuraavanlainen (Valtion ympäristöhallinto, [Viitattu 4.4.2012])

- A Yleinen osa
- B Rakenteiden lujuus
- C Eristykset
- D LVI ja energiatalous
- E Rakenteellinen paloturvallisuus
- F Yleinen rakennussuunnittelu
- G Asuntorakentaminen
- Eurokoodit.

Yleisessä osassa käsitellään suunnittelutehtävän vaativuudet (Taulukko 2), suunnittelijan pätevyydet (Taulukko 3), suunnittelijan tehtävät rakennusprojektissa ja muita yleisasioita koskien rakentamista ja sen valvontaa. Rakenteiden lujuus -osassa kerrotaan määräykset ja ohjeet kantavia rakenteita koskevista asioista.

Osassa B2 on yleismääräyksiä kaikista kantavista rakenteista. B10 on puurakenteita yksinomaan käsittelevä osa. C-osassa ovat äänen-, kosteuden- ja lämmöneristykseen liittyvät määräykset ja ohjeet. LVI ja energiatalous käsitellään D-osassa. Rakennusten palomääräyksistä on kerrottu E-osassa. Huomion arvoista on, että uusimmat palomääräykset ovat tulleet voimaan vuonna 2011. F-osassa on kerrottu rakennussuunnittelusta yleensä ja rakennuksen käyttöturvallisuudesta. G-osassa käsitellään asuntorakentamista ja asunnon vaatimuksia. Ympäristöministeriön säätämistä asetuksista, koskien Eurokoodeja, on kerrottu osiossa Eurokoodit. (Valtion ympäristöhallinto, [Viitattu 4.4.2012].)

Taulukko 2. Rakennesuunnittelutehtävän vaativuus yleisesti ja puurakenteiden osalta
(Suomen ympäristöministeriö 2002, 13).

4.2.3.1	**AA** ERITYISVAATIMUS (MRA 48 § 1 mom.)	**A** PERUSVAATIMUS (MRA 48 § 1 mom.)	**B** PIENEHKÖ tai teknisiltä ominaisuuksiltaan TAVANOMAINEN rakennus (MRA 48 § 2 mom.)	(**C**) VÄHÄINEN (MRA 48 § 3 mom.)
VAATIVUUDEN YLEISET LUOKITUS-PERUSTEET Rakenneluokat ks. RakMk B4, B6, B7	Rakennus tai tila, • joka on raskaasti kuormitettu ja siinä on suuria pistekuormia tai suuria dynaamisia kuormia; • joka on korkeudeltaan 30 m tai suurempi laskettuna perustusten yläpinnasta ylimpiin kannattajiin; • joka on vakavuussuunnittelun osalta erityisen vaativa; tai • jota samanaikaisesti käyttää suuri joukko ihmisiä.	Rakennus tai tila, joka on kooltaan ja rakenteiltaan normaali.	Rakennus tai tila, • jossa on pientalon tavanomaiset rakenteet; tai • joka on enintään 2-kerroksinen ja jossa yleensä vain tilapäisesti oleskelee ihmisiä, kuten pienehkö varasto tai maatalouden tuotantorakennus, pinta-ala enintään 300 m^2 ja jännevälit enintään 6 m.	Rakennus tai tila on pieni, 1-kerroksinen sekä tarkoitettu muuhun kuin pysyvään asumiseen tai työntekoon ja rakenteet voidaan riittävästi esittää rakennussuunnitelmassa.
	Kantava rakenneosa, joka • on paikalla valmistettava ja jänneväliltään yli 15 m; • on tavanomaisesta poikkeava liittorakenne; • on vaativa erikoisrakenne; tai • suunnitellaan rakenneluokassa 1.	Kantava rakenneosa, joka suunnitellaan rakenneluokassa 2. Hanke voi sisältää erikseen suunniteltuja rakenneluokan 1 (vaativuusluokan AA) rakenteita.	Kantava rakenneosa, joka suunnitellaan rakenneluokassa 3. Hanke voi sisältää erikseen suunniteltuja rakenneluokan 1 tai 2 (vaativuusluokan AA tai A) rakenteita.	
	Muutos- tai korjaustyö, jossa muutoin rakenneluokkaan 2 kuuluvan rakenteen staattista toimintaa oleellisesti muutetaan.			

4.2.3.2 RUNKORAKENTEET	**AA** (1)	**A** (2)	**B** (3)
Puurakenteet	• rakennus on 3–4-kerroksinen asuinkerrostalo; tai • rakenne on esivalmistettu ja jänneväliltään yli 25 m.	• rakenne suunnitellaan naulalevyristikoita käyttäen.	• rakennus on tavanomainen enintään 2-kerroksinen pientalo, jonka lujuuslaskelmissa käytettävän sahatavaran lujuus on enintään T24 (C24).

Taulukko 3. Rakennesuunnittelijan pätevyydet yleisesti ja puurakenteiden osalta Taulukon 2 vastaaviin tehtäviin
(Suomen ympäristöministeriö 2002, 15).

4.2.4.1 YLEISVAATIMUKSET	1 (AA) (MRA 48 § 1 mom.)	2 (A) (MRA 48 § 1 mom.)	3 (B) (MRA 48 § 2 mom.)
ov=opintoviikko	Suorittanut teknillisen korkeakoulun tai yliopiston diplomi-insinöörin tutkinnon tai suorittanut ammattikorkeakoulun tai teknillisen oppilaitoksen rakennus- tai konerakennuksen insinöörin tutkinnon tai vastaavan aiemman tutkinnon ja on lisäksi suorittanut allamainittua oppimäärää vastaavat ao. suunnittelijan opinnäytteet luokassa 1(AA) sekä on rakennesuunnittelijana hankkinut allamainitun suunnittelukokemuksen	Suorittanut vähintään ammattikorkeakoulun tai teknillisen oppilaitoksen rakennus- tai konerakennuksen insinöörin tutkinnon tai aiemman vastaavan tutkinnon ja on lisäksi suorittanut allamainittua oppimäärää vastaavat ao. suunnittelijan opinnäytteet luokassa 2(A) sekä on rakennesuunnittelijana hankkinut allamainitun suunnittelukokemuksen.	Suorittanut vähintään teknillisen oppilaitoksen rakennustekniikan tai -tuotannon tai konerakennuksen opintosuunnalla teknikon tutkinnon, johon sisältyvät riittävät kyseessä olevien rakenteiden suunnittelua ja toimintaa käsittelevät opintosuoritukset.
4.2.4.2 RUNKORAKENTEET/ kantavat rakenneosat:	Suorittanut vähintään oppimäärän, joka vastaa	Suorittanut vähintään oppimäärän, joka vastaa	
Puurakenteet* Harkinnan mukaan voidaan muita, mekaniikkaa ja puurakentamista sisältäviä opintosuorituksia ottaa huomioon soveltuvin osin.	• rakenteiden mekaniikassa 14 ov • puurakenteiden suunnittelussa 7 ov. Suunnittelukokemusta yleensä vähintään 4 vuotta ja näyttöä 1(AA) -vaativuusluokan puurakenteiden suunnitteluun osallistumisesta.	• rakenteiden mekaniikassa 10 ov. • puurakenteiden suunnittelussa 7 ov, joista korkeintaan 2 ov voidaan korvata betoni- ja teräsrakenteiden suunnitteluun liittyvillä opintosuorituksilla. Suunnittelukokemusta yleensä vähintään 2 vuotta ja näyttöä puurakenteiden suunnittelusta.	

4.4 Eurokoodit

Eurokoodit ovat eurooppalaisen standardisointijärjestö CEN:n laatimia ja Euroopan komissio on ollut hankkeen toimeksiantaja. Eurokoodit sisältävät kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja eli toisin sanoen suunnitteluohjeita. Ensimmäinen paketti otettiin käyttöön 1.11.2007. Eurokoodien tarkoitus on ollut parantaa eurooppalaisen rakennusteollisuuden kilpailukykyä Euroopassa ja muualla maailmassa. (Suomen standardisoimisliitto SFS ry, [Viitattu 4.4.2012].)

Eurokoodit koostuvat seuraavista pääosista (Suomen standardisoimisliitto SFS ry, [Viitattu 4.4.2012])

- EN 1990 Eurokoodi 0: Suunnittelun perusteet
- EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset
- EN 1992 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu

- EN 1993 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu
- EN 1994 Eurokoodi 4: Teräs-betoniliittorakenteiden suunnittelu
- EN 1995 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu
- EN 1996 Eurokoodi 6: Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu
- EN 1998 Eurokoodi 8: Rakenteiden suunnittelu kestävyyden suhteen maanjäristyksessä
- EN 1999 Eurokoodi 9: Alumiinirakenteiden suunnittelu.

Eurokoodia 0 ja Eurokoodia 1 käytetään yhdessä materiaalikohtaisten Eurokoodi 2–Eurokoodi 9 kanssa. Eurokoodi 5 käsittelee puurakenteita, joka jakaantuu vielä kolmeen osaan. Ensimmäinen osa (EN 1995-1-1) käsittelee yleiset ja rakennuksia koskevat säännöt. Osa kaksi (En 1995-1-2) käsittelee palomitoitusta ja kolmas osa (EN 1995-2) käsittelee puusiltoja. Puurakenteiden Eurokoodi on jonkin verran laajempi ja yksityiskohtaisempi kuin Suomen rakentamismääräyskokoelman B10 osa. Tällä hetkellä Eurokoodeja voidaan käyttää vaihtoehtoisena menetelmänä rakentamismääräyskokoelman suunnitteluohjeiden (B10) ohella. Tavoite on ottaa Eurokoodit pääasialliseksi suunnitteluohjeeksi lähitulevaisuudessa. (Siikanen 2008, 128.)

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry on julkaissut kaksi teosta puurakenteiden Eurokoodeihin liittyen. Ensimmäisessä osassa (RIL 205-1-2009) on tiivistettynä kerrottu Eurokoodin 5 osan yksi (En 1995-1-1) asiat puurakenteiden suunnittelusta. Toisessa osassa (RIL 205-2-2009) on tiivistetty Eurokoodin 5 osan kaksi (En 1995-1-2) asiat puurakenteiden palomitoituksesta. (RIL 205-1-2009 2009, 3; RIL 205-2-2009 2009, 3.)

Perehdytään seuraavaksi hieman syvemmin Eurokoodeihin puurakentamisen osalta RIL ry:n julkaisujen avulla. Eurokoodeissa rakenteiden mitoittaminen perustuu niin sanottuun rajatilamenetelmään. Mitoitettaessa rakenteita, niiden toimintaa tutkitaan kahdessa rajatilassa. Ensimmäinen on murtorajatila, jossa tutkitaan rakenteen kestävyyttä ja siihen kohdistuvia kuormia siinä tilanteessa, kun rakenteen murtuminen on todennäköistä. Eli haetaan sellaista tilannetta, että rakenne ei murru, mutta se kestää turvallisesti ja taloudellisesti siihen kohdistuvat rasitukset. Mur-

torajatilassa suunnittelukohde asetetaan yhteen kolmesta seuraamusluokasta: CC3, CC2, CC1. Luokasta riippuen murtorajatilan kuormia joko pienennetään tai kasvatetaan kertoimella K_{FI}. CC3:ssa seuraamukset ovat vakavimmat ihmishenkien tai materiaalin osalta onnettomuuden sattuessa, jolloin kohteen kuorman arvoja kasvatetaan kertoimella K_{FI} rakenteen varmuuden kasvattamiseksi. CC1:ssa seuraamukset ovat lievimmät ja siinä kuormia voidaan pienentää kertoimella K_{FI}. Murtorajatilan mitoitustilanteita voivat olla rakentamisvaihe, valmis rakennus tai onnettomuustilanne. Toinen rajatila on käyttörajatila, jolloin tutkitaan rakenteen muodonmuutoksia, kuten rakenteen taipumia, värähtelyä ja halkeamia. Muodonmuutokset voivat vahingoittaa myös pintamateriaaleja. Rakenteeseen vaikuttavat kuormat ja kosteus voivat aiheuttaa näitä muodonmuutoksia. Näistä muodonmuutoksista voi olla haittaa rakenteen toiminnalle, ulkonäölle ja käyttömukavuudelle. Käyttörajatilassa rakenteet pyritään mitoittamaan niin, että nämä muodonmuutokset pysyisivät mahdollisimman pieninä. (RIL 205-1-2009 2009, 24–28.)

Suunnittelussa huomioitavia rakenteisiin vaikuttavia kuormia ovat rakenteiden omat painot, hyötykuormat, lumikuormat, tuulikuormat, lämpötilakuormat, rakennusaikaiset kuormat ja onnettomuuskuormat. Puun ominaisuuksiin ja samalla puurakenteiden lujuuteen ja jäykkyyteen vaikuttavat kuorman ajallisen keston pituus ja puun kosteus. Kuormat on lajiteltu aikaluokkiin sen mukaan, kuinka pitkän aikaa niiden oletetaan vaikuttavan rakenteeseen. Suunnittelussa kohteen kuormat on aina asetettava asianmukaisiin luokkiin. Aikaluokat ovat pysyvä, pitkäaikainen, keskipitkä, lyhytaikainen ja hetkellinen. Esimerkiksi rakenteen oma paino kuuluu luokkaan pysyvä ja onnettomuuskuorma luokkaan hetkellinen. Puun kosteuden vaikutukset otetaan huomioon jaottelemalla rakenteet kolmeen käyttöluokkaan 1,2 tai 3. Käyttöluokkaan 1 kuuluvat rakenteet ovat lämmitetyissä sisätiloissa tai sitä vastaavissa kosteusolosuhteissa. Käyttöluokkaan 2 kuuluvat rakenteet sijaitsevat ulkoilmassa, mutta ne ovat hyvin tuulettuvat ja hyvin suojattu kastumiselta ja pysyvät kuivana. Kosteusolosuhteet ovat hieman haastavammat kuin luokassa 1. Käyttöluokassa 3 kosteusolosuhteet ovat haastavammat kuin luokassa 2. Tällöin rakenteet ovat säälle alttiit, kosteassa tilassa tai veden välittömässä läheisyydessä. Kuorman keston ja puun kosteuden vaikutus otetaan huomioon rakenteen lujuuteen kertoimella k_{mod}. Toinen kuorman vaikutusaikaan liittyvä kerroin on k_{def}. Se on puun virumaluku. Puun viruminen on puun väsymistä. Kuorman pitkä vaikutusaika

väsyttää puuta, jolloin sen lujuusominaisuudet heikkenevät, eli puu ei enää jaksa kantaa kuormaa samalla lailla kuin käyttöiän alussa. Virumaluvulla tämä otetaan huomioon puurakenteen mitoituksessa. Tuuli- ja lumikuorman suuruuteen vaikuttavat rakennuksen sijainti Suomessa ja rakennuksen sekä rakennuksen lähiympäristön muodot. (RIL 205-1-2009 2009, 29–42.)

Rajatilamenettelyssä pyritään aina hakemaan pahin mahdollinen kuormitustapaus kuormitusyhdistelmien avulla. Yleensä pahin tapaus on, kun useita kuormia vaikuttaa rakenteeseen yhtä aikaa. Tällöin mitoittavaan kokonaiskuormaan sisältyvät yleensä rakenteen oma paino, muu pysyvä kuorma, kuten päällisten rakenteiden oma paino, hyötykuorma ja jokin muu muuttuva kuorma, kuten lumi tai tuuli. Muuttuvista kuormista pahin otetaan aina yksikseen ja muut rakenteeseen vaikuttavat muuttuvat kuormat otetaan yhdessä huomioon. Kun muuttuvia kuormia yhdistetään, vaikutus otetaan huomioon yhdistelykertoimella ψ, joka riippuu kuormasta, rakennuksen käyttötarkoituksesta ja käytettävästä rajatilasta. Murtorajatilassa kuormat kerrotaan osavarmuusluvuilla, mikä kasvattaa kuormien arvoa. Tällä pyritään siihen, että kuormat oletetaan suuremmiksi kuin mitä ne todellisuudessa ovat. Näin myös rakenteet mitoitetaan kasvatettujen kuormien mukaan, mikä tuo rakenteille varmuutta. Näin toimitaan siksi, että kuormien todellisia arvoja ei voida riittävän varmasti määritellä. Samasta syystä myös materiaalien lujuudet pienennetään osavarmuusluvuilla, koska lujuuksia ei voida riittävän varmasti määritellä. Rakenteiden omassa painossa osavarmuuslukuna käytetään 1,15 ja muuttuvissa kuormissa 1,5. Materiaalien osavarmuusluvut vaihtelevat materiaalien mukaan, mutta esimerkiksi sahatavaralla yleisesti luku on 1,4 ja liimapuulla 1,2. (RIL 205-1-2009 2009, 24–28; 43.)

Käyttörajatilassa pyritään pitämään taipumat, siirtymät ja värähtely riittävän pieninä. Taipumatarkastelussa, esimerkiksi välipohjapalkki, selvitetään rakenteen todellinen taipuma asianomaisella kuormalla ja verrataan sallittuun taipuman arvoon, joka välipohjapalkilla on palkin jännevälin suhde neljäänsataan. Jos todellinen taipuma on sallittua suurempi, joudutaan palkki vaihtamaan jäykempään tai jännevälia lyhentämään. Värähtelyä tulee tutkia erityisen tarkasti, kun lattiarakenteen alin ominaistaajuus on alle 9 Hz. Jos alin ominaistaajuus on yli 9 Hz, tarkastetaan, että

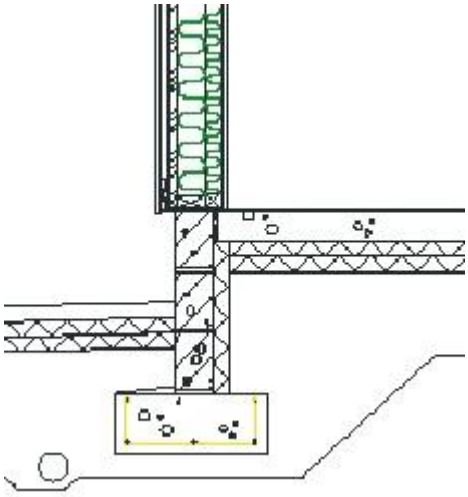
lattian suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla on enintään 0,5 mm, kun siihen kohdistuu 1 kN pistekuorma. (RIL 205-1-2009 2009, 89–93.)

Liitteissä 1-3 on esitetty kaavioina (Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu: Lyhennetty suunnitteluohje 2011, 52–54) eri rakenneosien suunnittelun kulku. Liitteessä 1 on esitetty seinätolpan mitoitus, liitteessä 2 palkin mitoitus ja liitteessä 3 naulaliitoksen mitoitus. Kaaviot liittyvät Puuinfon julkaisemaan lyhennettyyn puurakenteiden suunnitteluohjeeseen, johon tässäkin kappaleessa on viitattu. Ohje on nimenomaan lyhennetty ja yksinkertaistettu Eurokoodi 5:stä ja ohjeella pystyy suunnittelemaan tavanomaisia yksinkertaisia rakenteita. Liitteessä 4 on esitetty muutamia oleellisia puun jännitysten ja lujuuksien laskentakaavoja, jotka pohjautuvat myös Eurokoodi 5:n ohjeisiin. Liitteen 4 sivut on laatinut Seinäjoen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan koulutusohjelman koulutusohjelmapäällikkö Heikki Ylihärsilä (Ylihärsilä 2009). Kaavoissa tulee osaksi esille muun muassa edellä mainittujen kertoimien käyttö lujuuksien laskennassa. Lisäksi puun anisotrooppisuus tulee esille kaavoissa, sillä syiden suuntaiselle ja syitä vasten kohtisuoralle kuormitukselle on omat kaavansa laskettaessa puun lujuuksia.

5 PUUTALOON JA PUUKERROSTALOON SOVELTUVIEN RAKENNUSTEKNISTEN RATKAISUJEN LÖYTÄMINEN

5.1 Rakenteelliset ratkaisut

Puutalojen ja puukerrostalojen perustuksissa on huomioitava, etteivät puiset rakenteet joudu kosketuksiin maan ja sen kosteuden kanssa lahoamisvaaran vuoksi. Sen takia puuta ei tule käyttää maanvaraisissa rakenteissa. Perustusten materiaaliksi on syytä valita kivipohjaisia materiaaleja, joilla ei ole lahoamis- tai ruostumisvaaraa. Luontevinta on käyttää betonia, kevytsoraharkkoja tai niitä vastaavia materiaaleja. Perustamistavan valinnan jälkeen tulee suunnitelmissa varmistaa, ettei routa pääse vaurioittamaan rakenteita käyttämällä routaeristeitä. Perustamistapaan vaikuttaa maaperän koostumus ja mahdollinen kellaritilan rakentaminen. Esimerkkinä seuraavaksi perustusratkaisu (Kuvio 4). (Paloheimo 2000, 142–143.)



Kuvio 4. Esimerkki puutalon perustusratkaisusta
(Pisari.fi, [Viitattu 3.5.2012]).

Suomessa pientaloissa yleisesti käytetty seinärunkorakenne on ollut joko vaakahirsirakenne tai nykyään yleisin rankorakenne. Rankotolppina voi käyttää joko yleisintä massiivipuuta, viilupuuta tai liimapuuta. Rankotolppa tuetaan yleensä alhaalta ja ylhäältä sidepuuhun. Alasidepuu ankkuroidaan perusmuuriin teräsankkureilla ja puun ja perusmuurin väliin asetetaan vedeneriste estämään veden nousu perustuksia pitkin puurunkoon. Rankotolpat jaotellaan yleensä 600 mm:n välein lämmöneristeen asentamisen helpottamiseksi. Rungon jäykistämiseen soveltuu

nurkkiin sijoitettavat vinotuet tai vinolaudoitus. Myös levyjäykistys on mahdollinen, kuten Kuviossa 5 on esitetty. Seinät voidaan joko koota paikanpäällä tai toimittaa pienelementteinä, jotka voidaan pystyttää miesvoimin. Myös suurelementit ja tilaelementit ovat mahdollisia, mutta hieman vähemmän käytettyjä yksittäisissä kohteissa. (Siikanen 2008, 258–261; 301–307.)

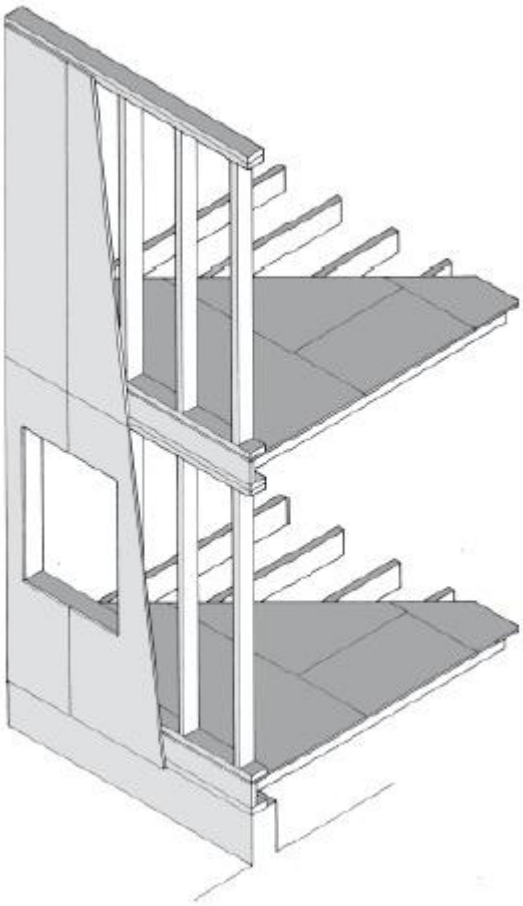
Puukerrostaloissa kantavana rakennejärjestelmänä voidaan käyttää kantavien seinien järjestelmää, jossa kantavia seiniä voivat olla ulkoseinät, huoneistojen väliset tai sisäiset seinät tai kaikki nämä yhdessä. Muita soveltuvia järjestelmiä ovat pilari-palkki- tai pilari-laattajärjestelmät. Puisen kantavan rakenteen materiaalina voidaan käyttää sahattua massiivipuuta, ristikoita, liimaten tai mekaanisesti koottuja palkki- ja pilariaihioita, kertopuuta, liimapuuta, uudenlaisia vanerista ja puusta koottuja ohutuuma- tai kotelopalkkeja tai levyistä koottuja arinoja. (Koiso-Kanttila 2000, 107.)

Kaikkia edellä mainittuja järjestelmiä pystytään toteuttamaan elementtirakenteina. Puukerrostalot toteutetaan lähes poikkeuksetta elementtijärjestelmällä tai platformjärjestelmällä. Tosin pilari-palkki- ja pilari-laattajärjestelmät ovat vähemmän käytettyjä asuntorakentamisessa, mutta ovat varmasti lisääntymässä tulevaisuudessa. Tällä hetkellä käytetään suurimmaksi osaksi kantavien seinien järjestelmää. (Siikanen 2008, 301–307.)

Elementtijärjestelmien suunnittelua ja teollista tuotantoa helpottamaan on luotu yhtenäinen mitoitus- ja liitosjärjestelmien teollisuusstandardi *RunkoPES*. Se on puutuoteteollisuuden käynnistämä hanke ja sen tavoitteena on ollut luoda yhtenäinen avoin standardi puuelementtirakentamiseen. PES-järjestelmässä sovitaan mittamoduulit, liitosperiaatteet ja perusrakenne-ratkaisut. Niiden mukaan eri valmistajien tuotteet ja ratkaisut ovat yhteensopivia. Suunnittelijat voivat näin ollen suunnitella talon ilman, että he tietävät kuka sen rakentaa. PES-järjestelmä vakioi puurakentamisessa vain rakennusrungon liitosjärjestelmän. Vakiointi ei rajoita arkkitehdin suunnitteluvapautta eikä yrityskohtaisten sovellusten kehittämistä. Tähän asti yhtenäisen järjestelmän puuttuminen on ollut teollisen puurakentamisen kehityksen hidasteena ja näin ollen myös nykyaikaisten puukerrostalojen kehityksen hidasteena. (Rakennuslehti 2012, [Viitattu 3.5.2012].)

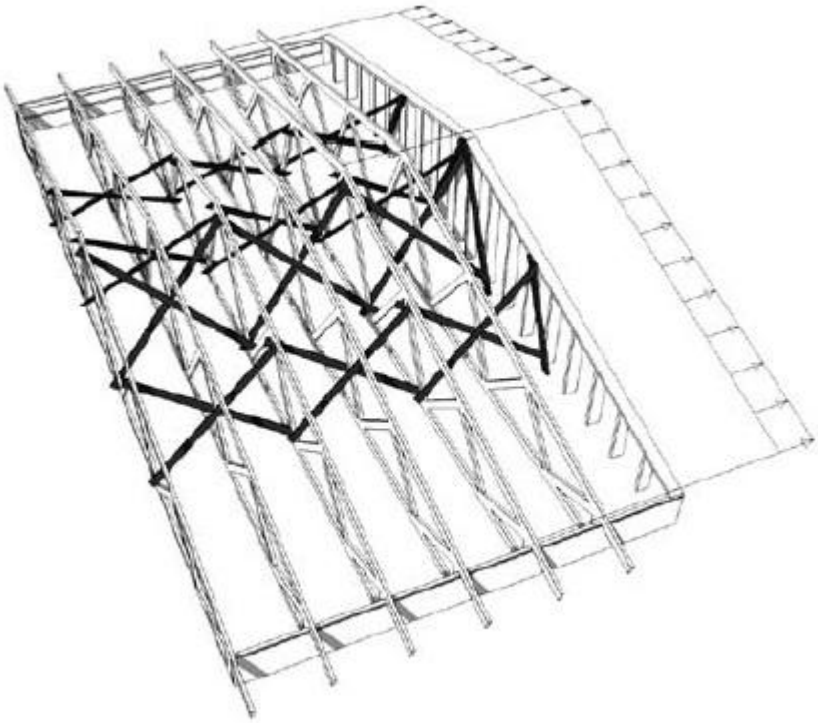
Puukerrostalojen jäykistyksen suunnittelussa on oltava huolellisempi kuin betonikerrostaloissa. Levyjäykistys on yleisin tapa tehdä jäykistys niin pysty- kuin vaakasuunnassa (Kuvio 5). Väli- ja yläpohjat toimivat omalta osaltaan jäykistävinä vaakasuorina levyinä siirtäen tuulikuormia jäykistäville pystyrakenteille. Toimivan jäykistyksen edellytys on yleensä, että välipohjan kantava pohjalevy ulottuu koko välipohjatason alalle. Tällöin se joudutaan asettamaan ulko- ja väliseinärakenteiden alle. Levyjen ja välipohjan kannakkeiden kiinnityksessä käytetty liima ruuvien tai naulojen kanssa lisää rakenteen jäykkyyttä. Pystysuunnassa jäykistys toteutetaan yleensä ruuvaamalla tai naulaamalla rakennuslevyt tiheästi kiinni seinien rankotolppiin. Jäykistyksen kannalta olisi sitä parempi, mitä syvärunkoisempi puukerrostalo olisi ja aukkojen sijainti päällekkäisissä kerroksissa olisi mahdollisimman yhtenevässä linjassa. Muita jäykistysvaihtoehtoja ovat kehä- ja ristikkojäykisteet, mutta ne sopivat parhaiten pilari-palkkijärjestelmään. Vinosidejäykistystä joudutaan yleensä käyttämään pilari-palkkirakenteissa, mutta sen käyttö voi hankaloittaa rakennuksen suunnittelua. Jo suunnitteluvaiheessa tulisi ottaa huomioon rakennuksen muuntojoustavuus, sillä jäykistävien rakenteiden myöhemmät merkittävät muutostyöt voivat aiheuttaa rungon liikkumista tai epätasaista painumista. Kohtuullisten muutostöiden tekeminen myöhemmin on kuitenkin yleensä helppoa puutaloissa. (Koiso-Kanttila 2000, 108–109.)

Metsäteollisuusyritys Stora Enso on kehittänyt uudenlaisen puuelementtituotteen, joka toimii samalla kantavana ja jäykistävänä rakenteena sekä seinä- että välipohja- ja kattorakenteissa. Tämä *CLT-levy* on massiivipuusta koostuva ristiinliimattujen puulevykerrosten kokonaisuus. Puulevykerroksia on vähintään kolme, mutta käyttökohteesta riippuen niitä voi olla yli seitsemänkin. CLT-levyistä pystytään valmistamaan suuria levyelementtejä, jopa 2,95 x 16 m:n kokoisia ja niihin on mahdollista kiinnittää muun muassa ulkoverhous ja eristeet jo tehtaalla. Myös aukot tehdään elementin valmistuksen yhteydessä. Elementeillä on paljon hyviä ominaisuuksia. Niillä on hyvä palo- ja äänieristävyys massiivisuuden takia, mutta kuitenkin ne ovat suhteellisen kevyitä ja helppoja työstää. Elementtien ilmantiiveys on myös hyvää tasoa. Niiden avulla rakennuksen pystytys käy myös nopeasti. (Puuinfo.fi, [Viitattu 3.5.2012].)



Kuvio 5. Havainnekuva seinän ja välipohjan levyjäykistyksestä rankorakenteisessa puukerrostalossa
(Viljakainen, Alppi, Lahtela, & Valkama 2004, 10).

Yläpohjarakenteen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota erityisesti kantavuuteen, lämmöneristävyyteen ja tiiveyteen. Oma paino, mahdolliset hyötykuormat sekä lumi- ja tuulikuormat ovat yläpohjan suunnittelussa tärkeämpiä kuin värähtely. Yläpohja ja vesikatto muodostavat toiminnallisen kokonaisuuden riippumatta siitä ovatko ne samaa rakennekokonaisuutta vai erillään. Vesikaton ja yläpohjan väliin on kuitenkin aina jätettävä riittävä tuuletustila. Yläpohjan kantavaksi rakennusosaksi on vaihtoehtona muun muassa naulalevyristikko, viilupuu- tai liimapuupalkki, massiivipuupalkki tai uumapalkki. Naulalevyristikot ovat nykyään tavanomaisin yläpohjarakenne puutaloissa ja puukerrostaloissa (Kuvio 6). (Siikanen 2008, 246–257.)



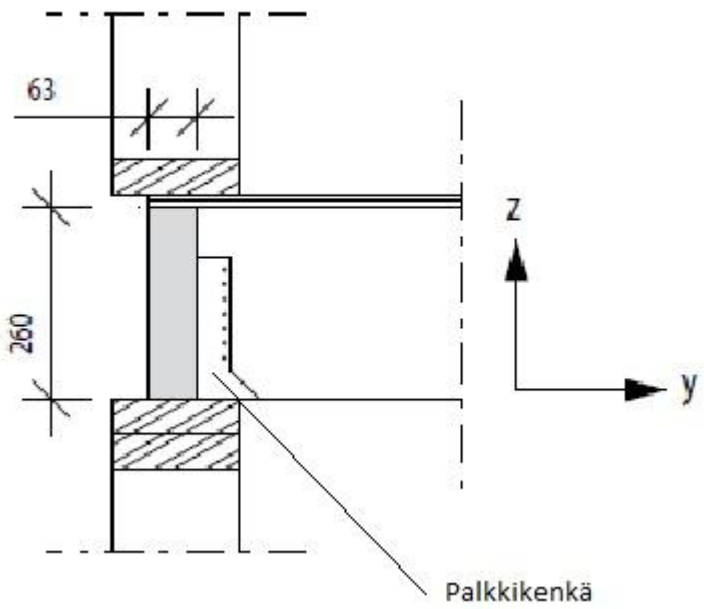
Kuvio 6. Naulalevyristikot yläpohjassa jäykisteineen
(EC5 Sovelluslaskelmat: Asuinrakennus 2010, 80).

5.2 Rakenneteknisiä ongelmatilanteita

Puu on ainetta, jonka rakennetta ei voi muuttaa esimerkiksi sulattamalla tai hitsaamalla. Ohuessa viilussakin puun solurakenne pysyy muuttumattomana. Tästä johtuen puinen sauva joudutaan yleensä liittämään mekaanisesti rakenteeseen, eikä liittäminen voi perustua puun perusaineen muuttamiseen. Näin ollen suunnitellessa puurakennetta, tulee kiinnittää erityishuomiota rakenteen liitoksiin. Liitoksissa käytetään yleensä teräksestä valmistettuja tuotteita liittämisen apuna (Kuvio 7). (Paloheimo 2000, 53–54.)

Pystyrungon painumat, välipohjapalkkien taipuminen ja värähtely ovat puukerrostaloissa ilmeneviä erityisongelmia. Painumista tapahtuu puutavaran kuivumisesta ja lappeellaan olevien puusoirojen puristumisesta. Varsinkin lappeellaan olevien soirojen määrä ja niiden puristuminen on merkittävässä osassa puukerrostalon rungon painuman suuruudessa. Painumat on otettava huomioon erityisesti LV-asennuksissa ja painuvien ja painumattomien rakennuksen osien liitoksien yhteydessä, kuten hissikuiluissa. Painuman vaikutuksia vähentää kuitenkin paljon se,

että suurin osa painumasta tapahtuu jo rakentamisvaiheessa ennen sisätilojen viimeistelytöitä. Välipohjissa tapahtuva taipuma ja värähtely tulevat yleensä suunnitteluvaiheessa määrääviksi kantavuuden sijaan. Lattia voi taipua tasaisuuden kannalta liikaa, vaikka se kantaisikin kuormat hyvin. Lattian värähtely taas koetaan epämiellyttäväksi tunteeksi. Näitä kahta ilmiötä voidaan vähentää muun muassa lisäämällä välipohjapalkkien jäykkyyttä tai lyhentämällä niiden jännemittaa. (Koiso-Kanttila 2000, 120–121.) Kuviossa 7 välipohjapalkin alla ja päällä lappeellaan olevia sidepuita, joiden painuma voi olla 4–8 % alkuperäisestä mitasta riippuen niiden vuosirenkaiden sijoittumisesta poikkileikkaukseen. Sidepuiden alla ja päällä olevien pystysuuntaisten rankotolppien painuminen on noin 0,2–0,3 %.



Kuvio 7. Välipohjapalkki liitetty kehäpuuhun teräksisellä palkkikengällä
(EC5 Sovelluslaskelmat: Asuinrakennus 2010, 53).

5.3 Palotekniset ratkaisut

Osa paloteknisistä ratkaisuista tulee esille ääniteknisiä ratkaisuja käsittelevän osion yhteydessä seuraavaksi. Monissa tilanteissa paloeristysvaatimukset tulevat täytettyä, kun äänieristysvaatimukset täyttyvät. Täten samoja asioita ei ole kerrottu kahdessa eri osiossa. Osa ääniteknisistä ratkaisuista taas voi esiintyä tässä osiossa.

Kerrostaloja on mahdollista tehdä puusta paloturvallisiksi, minkä tähänastiset tutkimukset ja ensimmäiset rakennetut puukerrostalot ovat jo hyvin osoittaneet. Nykyisten palomääräysten mukaan puukerrostalojen paloturvallisuus tulee varmistaa vesisprinklerijärjestelmällä, sähköverkkoon kytkettävillä palovaroittimilla ja porrashuoneisiin sijoitettavilla kuivanousujohdoilla. Rakenteet saadaan palonkestäviksi, kun ne suojataan palamattomilla rakennuslevyillä. Kantava runko suojataan yleensä kaksinkertaisella levytyksellä palonkestävyyden varmistamiseksi. Kantavan seinän levyistä sisempi toimii yleensä jäykisteenä, sillä rungon palonaikainen jäykkyys on aina varmistettava. Sisempi levy voi olla puuaineinen, mutta pintalevyn tulee olla palamatonta levyä, kuten kipsikartonkilevyä. Eurokoodien myötä kaikissa rakennuksen rakennusosien paloteknisessä mitoituksessa voidaan käyttää hiiltymämitoitusta. Hiiltymämitoituksen mukaan 30–60 minuutin palonkestoajat saavutetaan jo 25–50 millimetriä paksulla massiivisella puutavaralla. Tällä periaatteella mitoitettuna seiniin ei välttämättä tarvitse kuin yksi 13 millimetrinen kipsikartonkilevy. (Koiso-Kanttila 2000, 109–111.)

Seinien palomitoituksessa oletetaan, että palo kohdistuu yhteen huoneistoon kerralla eli palo vaikuttaa seinään vain toiselta puolelta. Tällöin kaksirunkoinen huoneistojen väliseinä voidaan palotilanteessa mitoittaa siten, että palolle altistumaton seinän puoli toimii rungon kantavana ja jäykistävänä rakenteena. Kaksirunkoisen seinän eri puolet eivät kuitenkaan saa olla kosketuksessa toisiinsa ääneneristyksen varmistamiseksi. (Koiso-Kanttila 2000, 115.)

5.4 Äänitekniset ratkaisut ja värähtely

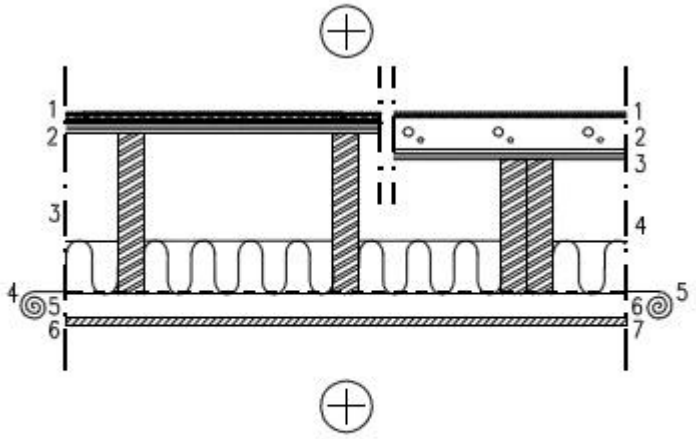
Välipohjissa ääneneristävyys tulee yleensä määrääväksi ja vaadittavat palonkestoajat saavutetaan sen myötä. Puukerrostalojen välipohjat kuivissa tiloissa koostuvat yleensä kolmesta rakennekerroksesta, jolla saadaan äänen- ja paloneristysarvot täyttymään (Kuvio 8). Keskellä on kantava rakenne, sen alapuolella on koolaus ja katon pintalevyt. Alapinnan koolauksessa voi myös käyttää jousirankoja tehostamassa äänieristävyyttä ja usein tätä rakennetta joudutaankin käyttämään. Kantavan rakenteen yläpuolella on tasaus- ja koolauskerrokset lattian pintarakenteineen. (Siikanen 2008, 157–158.) Pilari-palkkirungon käytön etu äänitekniseltä

kannalta on, että seinä ja välipohja voidaan erottaa kantavasta rakenteesta joustavilla liitoksilla (Koiso-Kanttila 2000, 108).

Välipohjien suunnittelussa puukerrostaloihin ongelmallisia ovat matalat äänitaajuudet eli alle 100 Hz taajuudet. Esimerkiksi pesukoneiden linkous aiheuttaa tällaisia taajuuksia. Runkoääninä kulkeutuessa ne ovat vaikeasti katkaistavissa. (Siikanen 2008, 158.) Betonirakentamisen ohjeissa ei näitä ongelmia tunneta. Ongelman ratkaisu on yleensä välipohjan massan lisäys, mutta se on huonosti soveltuva puurakenteisiin. Toinen ratkaisu on tehdä monikerroksisia rakenteita, mutta se mutkistaa rakennetta ja vaikeuttaa sen tekoa. Lisäksi näitä kahta tapaa tarvitaan yleensä yhdessä käytettyinä välipohjissa, mikä taas lisää rakenteen hintaa. Välipohjissa on myös käytetty muutaman senttimetrin vahvuisia betonivaluja kantavan lattialevyn päällä (Kuvio 8). Ratkaisu sopii myös märkätiloihin. Tämä ratkaisu on lisännyt välipohjan jäykkyyttä ja lisäksi täyttää äänen- ja paloneristysvaatimukset. Liitorakenteen käyttö tässä ratkaisussa on myös mahdollista käyttämällä tartuntoja levyn ja betonin välissä. Suomeen rakennetuissa puukerrostaloissa on tähän asti käytetty yleensä kelluvaa lattiaa välipohjissa, joka parantaa ääneneristävyyttä. Lattiarakenteena on käytetty joko pontattua lastulevyä, vaneria tai 2–3 kerroksen kipsikartonkilevyrakennetta. Lattiarakenne on erotettu jäykistävästä alemmasta lattialevystä mineraalivillakerroksella. Välipohjan palkkivälit olisi hyvä täyttää ainakin osittain kivivillalla, mikä lisää äänen- ja paloneristävyyttä. Asukastutkimukset ja kokeet ovat kuitenkin osoittaneet, että puukerrostalojen välipohjarakenteet, joissa on käytetty betoniakin, ovat osoittautuneet parhaimmaksi ratkaisuksi. Ne ovat vaimentaneet parhaiten ääntä, johtuen massan lisäyksestä. (Koiso-Kanttila 2000, 111–115.)

Ääni ei välttämättä aina kulje lyhintä tietä tilojen välillä. Se voi tilojen välisen seinän tai välipohjan läpi kulkemisen sijaan pyrkiä kiertämään toiseen tilaan ulkoseinän kautta. Myös LVI-putkien läpiviennit, ikkunoiden ja ovien karmit, kaikki raot ja reiät ja muut vastaavat kohdat ovat suuressa osassa äänen välittäjinä kahden tilan välissä. Sen takia väliseinien ja -pohjien lisäksi myös niiden liitoskohtien ääneneristävyys tulee tarkastaa ja pyrkiä katkaisemaan äänen kulku kaikissa rakenneosissa. (Siikanen 2008, 154–160.) Kuviossa 9 äänieristeinen väliseinä liittyy ulkoseinään. Väliseinän kohdalla ulkoseinän kahden rinnakkaisen runkotolpan väliin on

asennettu eristettä äänen kulun katkaisemiseksi. Samassa kuviossa näkee myös, kuinka väliseinän runkotolpat on limitetty, eivätkä ole kohdakkain koko seinän matkalla. Tämä auttaa eristämään ääntä.



Asuintila

1 Parketti
2 Havuvaneri
3 Palkisto + Mineraalivilla
4 Ilmansulkupaperi
5 Koolaus
6 Kipsilevy

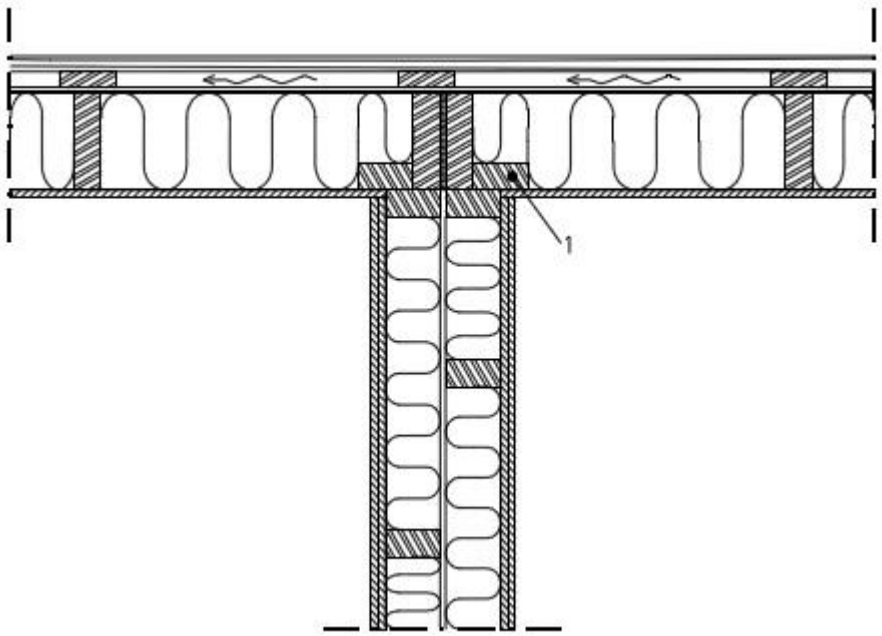
Rakenteen omapaino g_k=0,50 kN/m^2

Märkätila

1 Keraamiset laatat + Vedeneristys
2 Teräsbetonilaatta
3 Havuvaneri
4 Palkisto + Mineraalivilla
5 Ilmansulkupaperi
6 Koolaus
7 Kipsilevy

Rakenteen omapaino g_k=2,10 kN/m^2

Kuvio 8. Puiset välipohjaratkaisut
(EC5 Sovelluslaskelmat: Asuinrakennus 2010, 11).



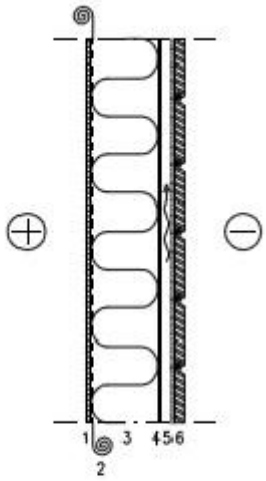
Kuvio 9. Väliseinän liittyminen ulkoseinään äänitekniseltä kannalta toimivasti (EC5 Sovelluslaskelmat: Asuinrakennus 2010, 13).

5.5 Kosteustekniset ratkaisut

Puutaloissa on tärkeää tarkkailla rakennuksen eri osien kosteutta. Homeen muodostuminen ei ole ainut asia, minkä takia kosteutta tulee tarkkailla puutaloissa. Tietyissä kosteusoloissa tapahtuva puun lahoaminen on myös asia, jota on syytä tarkkailla. Myös veden virtausta rakennuksessa pitää tarkkailla, sillä veden jäädessä seisomaan vasten rakennuksen runkoa, odotettavissa on ennen pitkää vaurioita. Vesi on siis saatava virtaamaan poispäin rakennuksesta ja sen lähistöltä. Oikein suunnitellussa talossa se ei jää seisomaan, vaan virtaa poispäin. Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota vesikatteeseen, räystäisiin, vesiränneihin, sadevesikaivoihin, salaojiin, sokkeliin ja maan muotoiluun rakennuksen ääressä ja lähistöllä. Rakennuksen ulkokuorta suunnitellessa tulee välttää mahdollisuus, että vesihöyry tiivistyisi vedeksi ulkokuoren sisälle ja vahingoittaisi näin rakennetta. *Kondenssi-ilmiö* on tapahtuman takana. (Paloheimo 2000, 134–135.)

Vesihöyryn mahdollinen tiivistyminen ulkoseinään on huomioitava rakenteen suunnittelussa ja materiaalin valinnan yhteydessä. Tiivistyminen pieninä määrinä ei ole haitallista, kunhan tuuletus on riittävä, mutta liian suuria vesihöyrymääriä ei saa päästää tiivistymään seinärakenteen sisään. Vaikka seinien sisäpinnan taakse

laitetaankin höyrynsulkumuovi, pääsee vesihöyryä aina jonkin verran seinärakenteeseen pienistä rei'istä ja raoista. Tämän takia vesihöyryn vaikutukset seinärakenteeseen tulee ottaa huomioon. Seinärakenteen eri materiaalit ja niiden käyttäytyminen lämmön ja kosteuden muutoksiin tulee tuntea hyvin suunnitteluvaiheessa. Ulkoverhouksen taakse tulee jättää riittävä tuuletusrako, jolloin lämmöneristeeseen tiivistynyt kosteus pääsee tuulettumaan hyvin (Kuvio 10). Puulla on hyvä kosteuden sitomisen ja luovuttamisen kyky, kosteuskapasiteetti, jolloin rakenteissa voitaisiin käyttää lämmöneristeenä puukuitupohjaisia eristeitä. Tällöin kosteudella ei olisi niin suurta riskiä vahingon aiheuttamiseen kuin mineraalivillaeristeiden kanssa, koska puu pystyy tasaamaan kosteuttaan ympäröivän ilmaston mukaan. Samalla tällaisen eristeen käyttö parantaisi sisäilman laatua. (Siikanen 2008, 148–151.)



1 Kipsilevy
2 Ilman– ja höyrynsulku
3 Tolpparunko + Lämmöneriste
4 Havuvaneri
5 Kiinnityslaudat + Tuuletusväli
6 Ulkoverhouslauta

Kuvio 10. Tavanomaisen puuseinän rakenneratkaisu tuuletusvälin kanssa (EC5 Sovelluslaskelmat: Asuinrakennus 2010, 11).

5.6 Energiatehokkuus

Puutalon lämpökapasiteetilla eli lämmönvaraamiskyvyllä on merkitystä puutalon energiatalouteen. Lämpökapasiteetilla tarkoitetaan kappaleen kykyä sitoa ja luovuttaa lämpöä. Puulla on hyvä lämmönvaraamiskyky, vaikka puu on kevyttä mate-

riaalia. Suora auringonvalo ja sisätilojen niin sanottu ylilämpö varastoituvat rakenteisiin, kun niitä on runsaasti saatavilla. Näin huonetilan lämpötila ei nouse liian korkeaksi ja epämiellyttäväksi, kun lämpö varastoituu rakenteisiin. Kun rakenteiden ympäröivä lämpötila alkaa laskea, rakenteet alkavat luovuttaa varastoitunutta lämpöä takaisin huonetilaan. Tällöin huonetilan lämpötila nousee eikä huoneessa ole kylmän tunnetta. Tämä rakenteiden lämpöä tasaava ominaisuus pitää huonetilojen lämpötilan vakaana, jolloin myös lämmityslaitteiston toiminta pysyy vakaana. Tämä taas säästää lämmityskustannuksissa eli on energiatehokasta. Rakenne suunnittelijan on hyvä huomioida tämä suunnittelussa. (Siikanen 2008, 137–142.)

Energiatehokkuuteen vaikuttaa suuresti rakennuksen ilmavirtausten hallinta. Ilmavirtauksia aiheuttavat rakennuksessa vaikuttavat ilmanpaine-erot, jotka riippuvat rakennuksen lämpötilaeroista, tuulen vaikutukset ja LVI-laitteiden aiheuttamat ilmavirtaukset. Kun ilmavirtaukset ovat suuria, ne kuljettavat myös paljon lämpöä. Tällöin lämmintä ilmaa hukkaantuu sen virratessa pois rakennuksesta tai ulkopuolelta virtaa kylmää ilmaa rakennukseen. Tämän takia rakennuksen ilmantiiveyteen tulee kiinnittää huomiota ja erityisesti erilaisten liitokohtien ja läpivientien kohtiin. Pieninä määrinä ilmavirtaukset ovat jopa hyväksi, sillä ne oikein päin tapahtuessa voivat kuivattaa ulkoseinän rakenteita ja parantaa sisäilman laatua. (Siikanen 2008, 130–133.)

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä on pyritty kertomaan ja selvittämään lyhyesti mutta kattavasti kaikki puutalojen ja puukerrostalojen suunnitteluun vaikuttavat tekijät ja suunnittelussa huomioitavat tekijät. Työssä on käsitelty itse rakennusmateriaali eli puu, selvitetty lakien ja määräysten kirjallisuutta ja esitelty rakentamisessa käytettäviä rakenneratkaisuja. Lukijalle on pyritty antamaan ymmärrettävä kuva pääkohdista ja ratkaisuja siihen, mistä tietoa on saatavilla sitä tarvittaessa.

Tarvittaessa tietoa alan kirjallisuus ja verkkoon tuotetut sivustot ovat hyviä lähtökohtia tiedon etsimiseen. Verkkosivustot ovat hyviä lähteitä varsinkin viimeisimpien tietojen etsimiseen, koska verkkoon tieto tulee paljon nopeammin kuin kansien sisään. Kirjallisuudesta apua voi hakea muun muassa suunnittelijoille tarkoitetuista käsikirjoista ja suunnitteluohjeista. Verkossa on useita sivustoja, joihin on koottu tietoa yhteen paikkaan etsimisen helpottamiseksi. Mainittakoon, että muun muassa Puuinfo.fi-sivustoilla on kattavasti tietoa saatavilla nimenomaan puurakennusten suunnitteluun. Siellä on linkkejä sivustoille, missä on tarjolla mitoitusohjelmia ja sivuilla on julkaistu erilaisia suunnitteluohjeita, joita tässäkin työssä on käytetty lähteinä. Maankäyttö- ja rakennuslaista ja muista rakennusmääräyksistä taas on paljon tietoa muun muassa Ympäristöhallinnon verkkosivuilla, jossa on muun muassa maankäyttö- ja rakennuslaki sekä rakentamismääräyskokoelma nähtävissä. Myös Eurokoodeista saa tietoa sivuston kautta. Rakennuslehden verkkosivut ovat hyvä paikka etsiä viimeisintä tietoa, sillä siellä uutisoidaan rakennusalan viimeisimmät tapahtumat kattavasti.

Seuraavaksi on esitetty muutamia tutkimuksia ja tilastoja vahvistamaan työssä käsiteltyjä aiheita. Näitä on tullut eteen aineiston etsimisen yhteydessä. Työssä kerrottiin, että puuta pidetään muun muassa miellyttävänä ja terveellisenä materiaalina, minkä vahvistaa Rakennuslehden verkkosivuilla julkaistu artikkeli (Rakennuslehti 2012, [Viitattu 3.4.2012].), jossa kerrotaan kahden eri puutaloihin liittyvän tutkimuksen tuloksista. Tutkimukset on julkaistu vuosina 2011 ja 2012. Samaisesta artikkelista käy myös ilmi, että muuttoa puukerrostaloon seuraavan kolmen vuoden aikana harkitsee reilu satatuhatta kotitaloutta. Täten kysyntää uusille puukerrosta-

loille on seuraavan kolmen vuoden aikana useita kymmeniä kerrostaloja eli rakennesuunnittelijoillekin on luvassa töitä puukerrostalojen parissa.

Työssä myös kerrottiin, kuinka betoni syrjäytti puun asuinrakennuksissa 1960-luvulta eteenpäin ja tällöin puun käyttö väheni rakennuksissa. Tilastokeskus on julkaissut tilastoja (Taulukko 4) siitä, kuinka puuta ja betonia on käytetty rakennuksissa rakennusaineena 1960-luvun ja 2010-luvun välisenä aikana. Tilastoista näkyy, kuinka kiviaineen eli betonin käyttö asuinrakennuksissa tarkastelujaksolla on kasvanut lähes nelinkertaiseksi. Samaan aikaan puun käyttö on laskenut reilulla kymmenyksellä. Puun käyttö on kuitenkin lähtenyt nousuun vuoden 2000 jälkeen ja on noussut vuoteen 2010 mennessä vajaalla prosenttiyksiköllä. Osaksi nousun selittää varmasti se, että puukerrostaloja koskevat palomääräykset olivat muuttuneet 2000-luvun alkaessa sallivammiksi puukerrostaloja kohtaan.

Taulukko 4. Rakennukset rakennusaineiden mukaan vuosien 1960–2010 välillä (Suomen virallinen tilasto (SVT), 26.5.2011).

Talotyyppi		Rakennusaine							
		Yhteensä	%	Kivi	%	Puu	%	Muu, tuntematon	%
Kaikki rakennukset	1960	832 460	100,0	55 008	6,6	777 452	93,4	..	..
	1970	837 948	100,0	83 125	9,9	754 823	90,1	..	..
	1980	934 845	100,0	120 608	12,9	814 237	87,1	..	..
	1990	1 162 410	100,0	168 818	14,5	956 626	82,3	36 966	3,2
	2000	1 299 624	100,0	194 725	15,0	1 040 189	80,0	64 710	5,0
	2010	1 446 096	100,0	229 311	15,9	1 163 138	80,4	53 647	3,7
Asuinrakennukset	1960	725 932	100,0	25 586	3,5	700 346	96,5	..	..
	1970	768 204	100,0	58 287	7,6	709 917	92,4	..	..
	1980	842 662	100,0	89 490	10,6	753 172	89,4	..	..
	1990	1 004 809	100,0	121 291	12,1	870 314	86,6	13 204	1,3
	2000	1 120 714	100,0	138 357	12,3	935 928	83,5	46 429	4,1
	2010	1 234 602	100,0	159 441	12,9	1 039 706	84,2	35 455	3,7
Muut rakennukset	1960	106 528	100,0	29 422	27,6	77 106	72,4	..	..
	1970	69 744	100,0	24 838	35,6	44 906	64,4	..	..
	1980	92 183	100,0	31 118	33,8	61 065	66,2	..	..
	1990	150 249	100,0	47 394	31,5	82 661	55,0	20 194	13,4
	2000	178 910	100,0	56 368	31,5	104 261	58,3	18 281	10,2
	2010	211 494	100,0	69 870	33,0	123 432	58,4	18 182	8,6

Nykyään tekniikka on niin paljon kehittynyttä, että puun tuottaminen erilaisiksi rakennuspuutuotteiksi ei ole ongelma. Edes puun mitat eivät ole enää este ja puun

vikojakin pystytään hallitsemaan nykyään hyvin. Tuotteet, kuten viilupuu (LVL) ja uusimpana ristiinliimattu massiivipuulevy (CLT), ovat tällaisia jatkojalostustuotteita. Nämä kehitysaskeleet ovat lisänneet puun käyttöä rakenteissa. Myös muuttuneet palomääräykset ovat mahdollistaneet puun suuremman käytön rakenteissa. Palotilanteet on huomioitava kuitenkin edelleen tarkasti suunnittelussa, sillä puu on palavaa materiaalia. Puun liitokset ovat yksi ongelmakohdista, koska puurakenteet on liitettävä aina mekaanisesti toisiinsa. Tästä johtuen liitokset ovat erityistapauksia ja tuovat haastetta suunnitteluun. Muutenkin suunnittelussa on oltava huolellinen, sillä puu ei ole tasalaatuista materiaalia, vaan sen laatu voi vaihdella jopa yksittäisen kappaleen sisällä huomattavasti. Myös kosteuden vaikutukset tulee ottaa tarkasti huomioon, koska puu alkaa lahota tietyissä kosteusoloissa ja sen lujuusominaisuudet muuttuvat kosteuden muuttuessa. Tämän takia kosteuden hallintaan tulee kiinnittää huomiota, sillä laho hajottaa puun rakennetta ja täten heikentää puun lujuutta. Huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella puusta saa kuitenkin visuaalisen, turvallisen ja kodikkaan asunnon Suomeen, jossa puu on aina ollut merkittävässä osassa rakentamisessa.

LÄHTEET

A 10.9.1999/895. Maankäyttö- ja rakennusasetus.

EC5 Sovelluslaskelmat: Asuinrakennus. 2.p. 2010. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 15.4.2012]. Saatavana: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf

Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelu: Lyhennetty suunnitteluohje. 3.p. 2011. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 16.4.2012]. Saatavana: http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje-www-kolmas-painos-1492011.pdf

Heikkinen, P. 2000. Puutaloteollisuus ennen ja nyt. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 88–105.

Koiso-Kanttila, J. 2000. Puinen kerrostalo. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 106–131.

L 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki.

Metsälä, H. 2001. Puukirja. 3. p. Jyväskylä: Rakennusalan Kustantajat RAK, Kustantajat Sarmala Oy.

Paloheimo, E. 2000. Puun rakenteellinen luonne. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 52–61.

Paloheimo, E. 2000. Puutalon kantavat osat. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 142–151.

Paloheimo, E. 2000. Talon metabolia. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 132–141.

Pisari.fi. Ei päiväystä. [Piirroskuva]. [Viitattu 3.5.2012]. Saatavana: http://www.pisari.fi/mokkiperus.html

Puuinfo.fi. Ei päiväystä. CLT -levy (cross laminated timber) / ristiinliimattu massiivipuulevy runko-, välipohja- ja kattorakentamiseen. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 3.5.2012]. Saatavana: http://www.puuinfo.fi/tuotteet/clt-levy-cross-laminated-timber-ristiinliimattu-massiivipuulevy-runko-valipohja-ja-kattorakentamiseen

Puuproffa.fi. Ei päiväystä. [Piirroskuva]. [Viitattu 3.4.2012]. Saatavana: http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=29

Puuproffa.fi. Ei päiväystä. [Piirroskuva]. [Viitattu 5.4.2012]. Saatavana: http://www.puuproffa.fi/proffin/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=70

Rakennuslehti. 28.3.2012. Kysely: Puukerrostaloon muutto kiinnostaa. [Verkkolehtiartikkeli]. Sanoma Magazines Finland. [Viitattu: 3.4.2012]. Saatavana: http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/talous/27963.html

Rakennuslehti. 11.4.2012. RunkoPes on valmiina käytettäväksi. [Verkkolehtiartikkeli]. Sanoma Magazines Finland. [Viitattu: 3.5.2012]. Saatavana: http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/rakennustuote/28090.html

RIL 205-1-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-1. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 205-2-2009. 2009. Puurakenteiden suunnitteluohje: Eurokoodi EN 1995-1-2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Siikanen, U. 2000. Perinteinen puutalo. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 72–87.

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Ei päiväystä. Eurokoodit. [Verkkosivusto]. [Viitattu: 4.4.2012]. Saatavana: http://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit

Suomen virallinen tilasto (SVT). 26.5.2011. Rakennukset rakennusaineen mukaan 1960–2010. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. [Viitattu: 3.4.2012]. Saatavana: http://www.stat.fi/til/rakke/2010/rakke_2010_2011-05-26_tau_004_fi.html

Suomen ympäristöministeriö. 8.5.2002. Suomen rakentamismääräyskokoelma: A2 Rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. [Verkkojulkaisu]. Suomen ympäristöministeriö. [Viitattu 24.4.2012]. Saatavana: http://www.finlex.fi/data/normit/10970-a2.pdf

Suonto, Y. 2000. Uusi puuarkkitehtuuri. Teoksessa: E. Paloheimo (toim.) Metsä ja puu IV: - Puinen rakennus. Helsinki: Rakennustieto Oy, 34–41.

Viljakainen, M., Alppi, A., Lahtela, T. & Valkama, A-M. 2004. Avoin puurakennusjärjestelmä: Paikalla rakentaminen. [Verkkojulkaisu]. Wood Focus Oy. [Viitattu 2.4.2012]. Saatavana:

http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-paikalla-rakentaminen/paikalla-rakentaminen.pdf

Valtion ympäristöhallinto. Ei päiväystä. Suomen rakentamismääräyskokoelma. [Verkkosivusto]. Suomen ympäristöministeriö. [Viitattu 4.4.2012]. Saatavana: http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=321569&lan=fi#a0

Ylihärsilä, H. 2009. Puurakenteet 1 -kurssi. Opintomateriaali. 2010. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, rakennustekniikan koulutusohjelma. Julkaisematon.

LIITTEET

LIITE 1 Seinätolpan mitoitus

LIITE 2 Palkin mitoitus

LIITE 3 Naulaliitoksen mitoitus

LIITE 4 Laskentakaavoja

LIITE 1 Seinätolpan mitoitus

Seinätolpan mitoitus

Tuettu heikommassa suunnassa levytyksellä

MRT:n kuormat, kohta 2.2
- Hetkellinen aikaluokka (tuulen aiheuttama taivutus, kaava (2.11)), kaava (2.4)
- Keskipitkä aikaluokka (lumi määräävä / hyötykuorma määräävä), kaava (2.3)
- Pysyvä aikaluokka (ei yleensä mitoita), kaava (2.2)

Alajuoksun kiskopainemitoitus
- Tukipainekerroin $k_{c,\perp}$, kaava (5.2a)
- Mitoitusehto (5.2) alajuoksun puristuslujuudella $f_{c,90,d}$

Nurjahdus vahvempaan suuntaan
- Nurjahduspituus $L_c = L$, taulukko 5.1
- Hoikkuusluku λ_y, kaava (5.9)
- Nurjahduskerroin $k_{c,y}$, kuva 5.5
- Mitoitusehto (5.7) tarkistetaan aikaluokittain

LIITE 2 Palkin mitoitus

Palkin mitoitus

Suora palkki, ei normaalivoimaa

Kattopalkki

Välipohjapalkki

Värähtelymitoitus, kohta 4.2
$f_1 \geq 9$ Hz & $k_B k_s \delta_L \leq 0{,}5$ mm

Taipumamitoitus
- KRT:n kuorma, kohta 2.3
- Hetkellinen taipuma w_{inst} (E_{mean} -jäykkyydellä ilman käyttö- tai aikaluokkavaikutusta)
- Kokonaistaipuma w_{fin}, kaava (2.8)
- Taipumarajoitusten toteutuminen, kohta 4.1

MRT:n kuormat, kohta 2.2
- Keskipitkä aikaluokka, kaava (2.3)
- Pysyvä aikaluokka (ei yleensä mitoita), kaava (2.2)

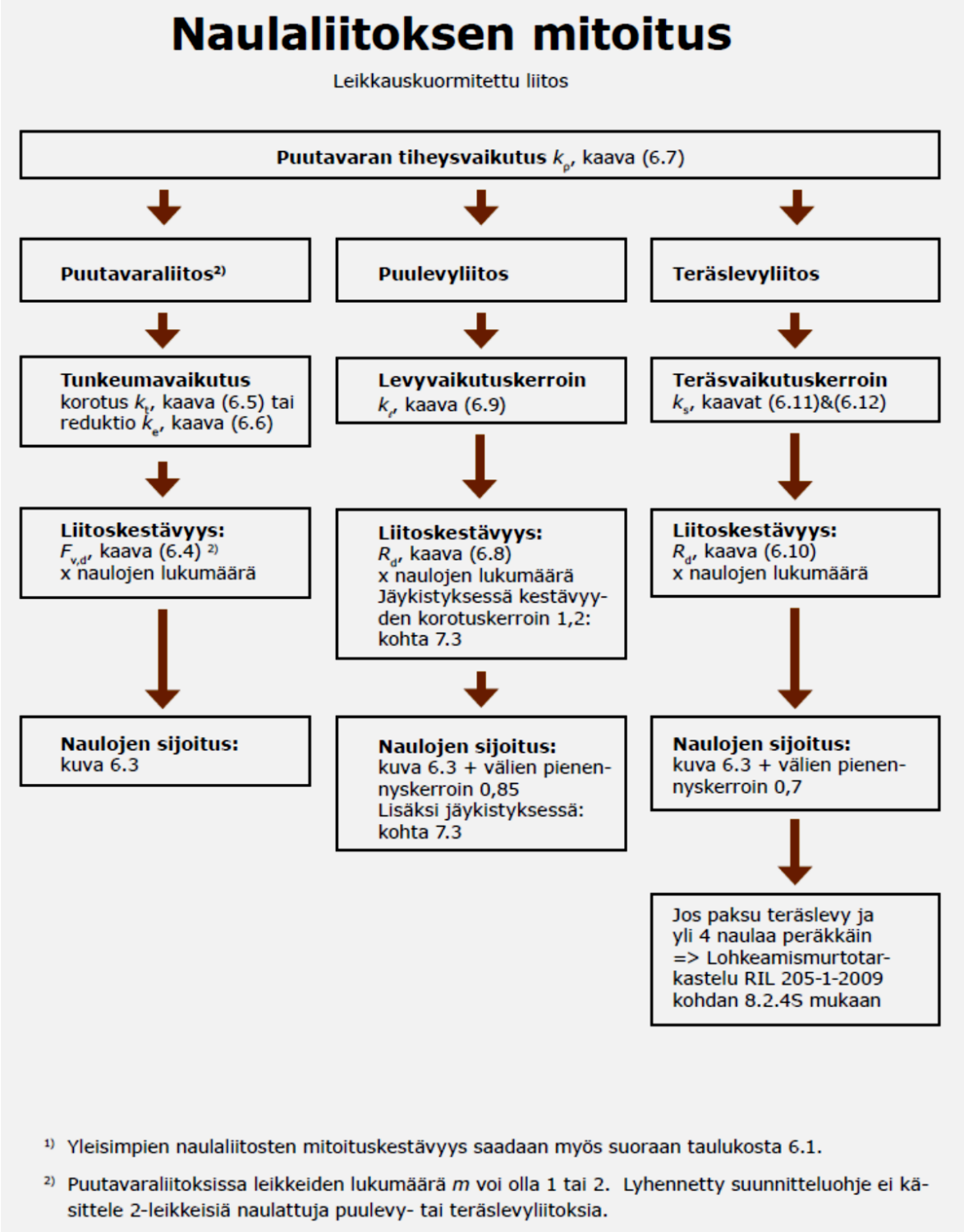
Taivutus
- Kiepahduspituus ℓ_{ef}, kohta 5.4
- Kiepahduskerroin k_{crit}, kuva 5.4
- Mitoitusehto (5.3); kahdensuuntaisessa taivutuksessa myös (5.4) ja (5.5)

Leikkaus
- Leikkausvoiman pienennys, kohta 5.2
- Mitoitusehto: $\tau_d \leq f_{v,d}$

Tukipituus
- Tukipainekerroin $k_{c,\perp}$, kaava (5.3a)
- Mitoitusehto (5.2)

Eritystarkastelut tarvittaessa
- Vääntörasitus, RIL 205-1-2009: 6.2.5S
- Lovettu tuki, RIL 205-1-2009: kaava (6.60)
- Palkin reikä, RIL 205-1-2009: 6.7S

LIITE 3 Naulaliitoksen mitoitus



[1)] Yleisimpien naulaliitosten mitoituskestävyys saadaan myös suoraan taulukosta 6.1.

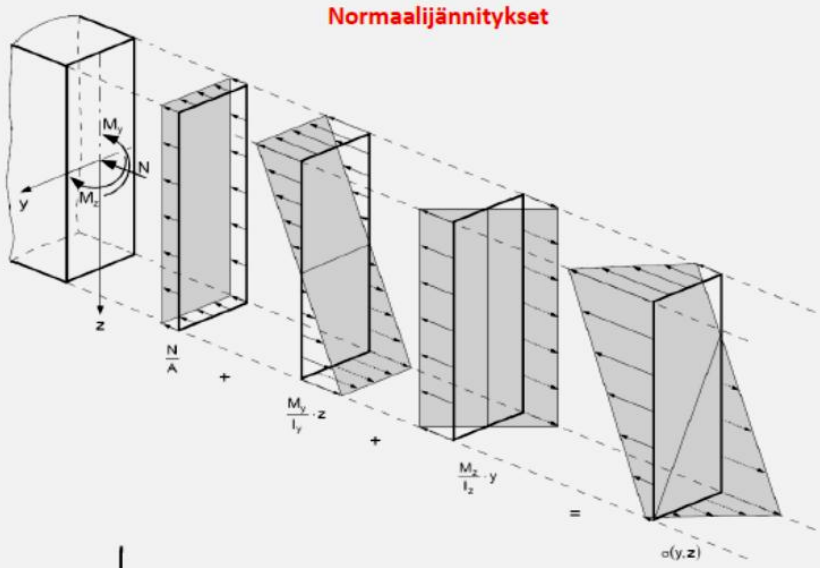
[2)] Puutavaraliitoksissa leikkeiden lukumäärä *m* voi olla 1 tai 2. Lyhennetty suunnitteluohje ei käsittele 2-leikkeisiä naulattuja puulevy- tai teräslevyliitoksia.

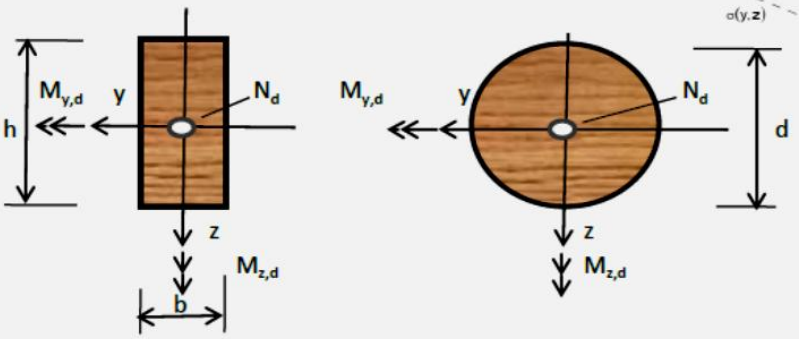
LIITE 4 Laskentakaavoja

Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 1 A	Sivu	1 / 2
	Sisältö	Normaalijännitykset		
	Viite	Lujuusoppi		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Normaali-jännitykset

Normaalijännitykset





$\sigma_{t,0,d} = \dfrac{N_d}{A_{netto}}$; Vetojännityksen mitoitusarvo (N vetävä aksiaalivoima)

$\sigma_{c,0,d} = \dfrac{N_d}{A}$; Puristusjännityksen mitoitusarvo (N puristava aksiaalivoima)

$\sigma_{m,y,d} = \dfrac{M_{y,d}}{I_y} \cdot z$; taivutusjännityksen mitoitusarvo (taivutus y-akselin suhteen)

; suorakaidepoikkileikkaus $I_y = \dfrac{b \cdot h^3}{12}$; pyöreä poikkil. $I = \dfrac{\pi \cdot d^4}{64}$

$\sigma_{m,z,d} = \dfrac{M_{z,d}}{I_z} \cdot y$; taivutusjännityksen mitoitusarvo (taivutus z-akselin suhteen)

; suorakaidepoikkil. $I_z = \dfrac{h \cdot b^3}{12}$

yleensä taivutusjännitykset lasketaan poikkileikkauksen reunalla ($z = \dfrac{h}{2}$ *ja* $y = \dfrac{b}{2}$)

jolloin

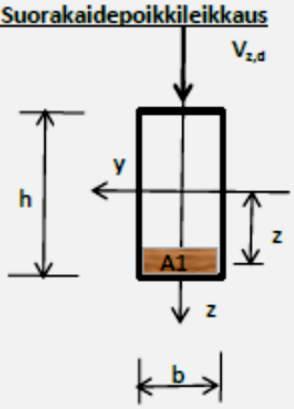
$\sigma_{m,y,d} = \dfrac{M_{y,d}}{W_y}$; suorakaidepoikkil. $W_y = \dfrac{b \cdot h^2}{6}$; pyöreä poikkil. $W = \dfrac{\pi \cdot d^3}{32}$

$\sigma_{m,z,d} = \dfrac{M_{z,d}}{W_z}$; suorakaidepoikkil. $W_z = \dfrac{h \cdot b^2}{6}$

Puurakenteet 1	Dokumentti	Tietolehti 1A	Sivu	2 / 2
Seinäjoen ammattikorkeakoulu	Sisältö	Leikkausjännitykset		
	Viite	Lujuusoppi		
Rakennustekniikan koulutusohjelma	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Leikkausjännitykset

Suorakaidepoikkileikkaus



leikkausjännitysjakauma suorakaidepoikkileikkauksessa

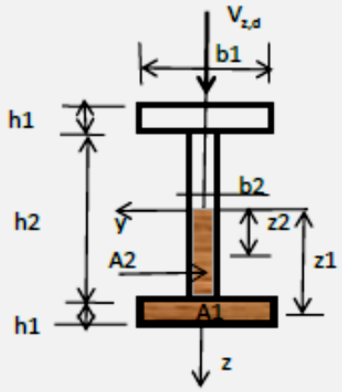
$$\tau_d = \frac{V_{z,d} \cdot S}{b \cdot I_y} \qquad S = A_1 \cdot z$$

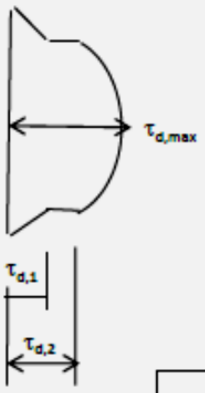
leikkausjännityksen maksimiarvo, kun z = h/2

$$\tau_{d,\max} = \frac{V_{z,d} \cdot S}{b \cdot I_y} = \frac{V_{z,d} \cdot b \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{4}}{b \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}}$$

$$\tau_{d,\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{A}$$

Kaksoissymmetrinen I-poikkileikkaus





$$\tau_{d,\max} = \frac{V_{z,d} \cdot (S_1 + S_2)}{b_2 \cdot I_y}$$

$$S_1 = A_1 \cdot z_1 = b_1 \cdot h_1 \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2}\right)$$

$$S_2 = A_2 \cdot z_2 = b_2 \cdot \frac{h_2}{2} \cdot \frac{h_2}{4}$$

$$\tau_{d,1} = \frac{V_{z,d} \cdot S_1}{b_1 \cdot I_y}$$

$$\tau_{d,2} = \frac{V_{z,d} \cdot S_1}{b_2 \cdot I_y}$$

$$I_y = \frac{b_1 \cdot (2 \cdot h_1 + h_2)^3}{12} - \frac{(b_1 - b_2) \cdot h_2^3}{12}$$

Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 2	Sivu	1 / 2
	Sisältö	Veto syiden suunnassa		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Syiden suuntainen veto

Mitoitusehto:

SFS-EN 1995-1-1

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,o,d}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_l \cdot k_{sys} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

6.1

$\sigma_{t,0,d}$ on syiden suuntaisen vetojännityksen mitoitusarvo

$f_{t,0,d}$ on syiden suuntaisen vetolujuuden mitoitusarvo

Tietolehti 1

vetolujuuden modifiointikerroin k_h

h = poikkileikkuksen leveys

$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3 \quad \text{sahatavara (tiheys} \leq 700\ \text{kg/m}^3\text{) kun h} \prec 150\ \text{mm}$$ 3.1

$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1 \quad \text{liimapuu kun h} \prec 600\ \text{mm}$$ 3.2

$$k_h = 1,0 \quad \text{LVL}$$

LVL:

Vedetyn sauvan vertailupituus on 3000 mm. Kun vedetyn sauvan pituus ei ole 3000 mm, vetolujuuden ominaisarvo ft,0,k kerrotaan kertoimella k_l , joka saadaan kaavasta:

$$k_l = \min\left\{\left(\frac{3000}{l}\right)^{\frac{s}{2}} \quad \text{or} \quad 1,1\right\}$$

Kerto-S s =0,12
Kerto-T s =0,15
Kerto-Q s=0,12

3.4

missä l on pituus [mm]

Kuorman jakoluku k_{sys}

Kun useat tasavälein sijaitsevat samanlaiset sauvat, ristikot tai muut rakenneosat yhdistetään toisiinsa poikittaisilla, jatkuvilla, kuormaa jakavilla rakenneosilla, voidaan toisiinsa yhdistettävien rakenneosien kestävyysominaisuudet kertoa kuorman jakoluvulla ksys.

Mikäli jatkuva kuormaa jakava rakenneosa pystyy siirtämään kuormia rakenneosalta viereisille rakenneosille kuorman jakoluvun ksys arvo on 1,1.

Kuormaa jakavien rakenneosien kestävyyttä määritettäessä oletetaan, että kuormat ovat kestoltaan lyhytaikaisia.

EN 1995-1-1
Luku 6.6

Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 2	Sivu	2 / 2
	Sisältö	Veto syitä vastaan kohtisuorassa		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Syitä vastaan kohtisuora veto

Mitoitusehto:

Sauvan koon vaikutus tulee ottaa huomioon

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{vol} \cdot k_{sys} \cdot f_{t,90,k}}{\gamma_M}$$

RIL 205-1-2007
6.1.1S

$\sigma_{t,90,d}$ on syitä vastaan kohtisuoran vetojännityksen mitoitusarvo

$f_{t,90,d}$ on syitä vastaan kohtisuoran vetolujuuden mitoitusarvo

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}$$

sahatavaralle, liimapuulle ja LVL.lle, jonka kaikki viilut ovat sauvan akselin suuntaiset

k_{vol} on tilavuuskerroin

V_0 on vertailutilavuus 0,01 m3

V on poikittaisen vetojännityksen rasittama tilavuus, vähintään 0,01 m3

Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 3A	Sivu	1 / 1
	Sisältö	Syysuuntainen puristus, ei nurjahdusvaaraa		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Syysuuntainen puristus

Ei nurjadusvaaraa!

Mitoitusehto:

SFS-EN 1995-1-1

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,o,d}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\mathrm{mod}} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

6.2

$\sigma_{c,0,d}$ on syiden suuntaisen puristusjännityksen mitoitusarvo

$f_{c,0,d}$ on syiden suuntaisen puristuslujuuden mitoitusarvo

HUOM. Sauvojen epälineaarisen toiminnan tarkastelu esitetään kohdassa 6.3.

SFS-EN 1995-1-1

Puurakenteet 1	Dokumentti	Tietolehti 3B	Sivu	1 / 1
Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Sisältö	Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, Päivitykset RIL 205-1-2007		
Rakennustekniikka	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$ 6.3

σ c,90,d on syitä vastaan kohtisuoralla tehollisella kosketuspinnalla vaikuttavan puristusjännityksen mitoitusarvo

fc,90,d puristuslujuuden mitoitusarvo syysuuntaa vastaan kohtisuorassa puristuksessa

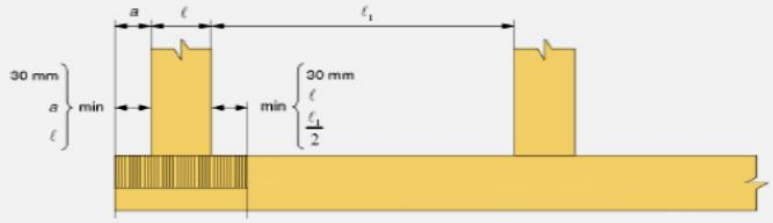
kc,90 on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon kuorman sijainti, halkeamismahdollisuus ja puristuman suuruus (ei koske levytuotteita)

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$ 6.4

Fc,90,d on syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman mitoitusarvo

Fc,90,d on syitä vastaan kohtisuoran puristavan kuorman tehollisen kosketuspinnan pinta-ala

Syitä vastaan kohtisuoran tehollisen kosketuspinnan pinta-ala Aef määritetään ottamalla huomioon syysuuntainen tehollinen kosketuspituus, missä todelliseen kosketuspituuteen l lisätään kummallakin puolella mitta 30 mm, mutta enintään mitta a, l tai $l_1/2$ (HUOM! Kerto Q:n sysrjäpinnalla tehollinen pituus l_{ef} = l)



Kertoimen kc,90 arvona käytetään lukua 1,0, paitsi jos seuraavien alakohtien ehdot toteutuvat. Näissä tapauksissa kertoimelle kc,90 määriteltyä suurempaa arvoa voidaan käyttää, raja-arvon ollessa kc,90 = 1,75.

Kun palkki on **jatkuvilla tuilla ja l1 ≥ 2h**, ks. kuvaa 6.2a, kertoimen kc,90 arvona käytetään lukua:

kc,90 = 1,25, kun puu on havupuista sahatavaraa

kc,90 = 1,5, kun puu on havupuista liimapuuta — Kuva 6.2a

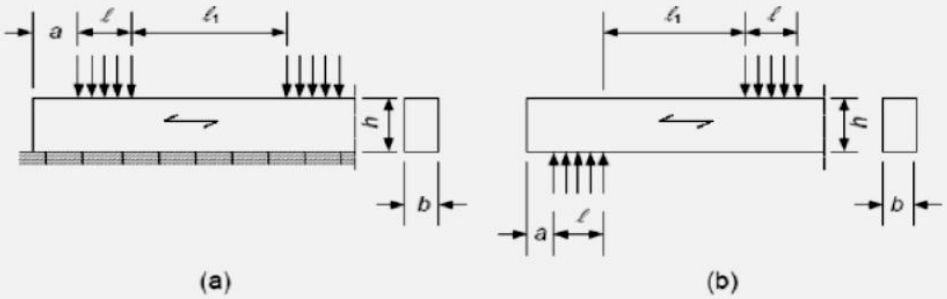
kc,90 = 1,3, kun Kerto-Q on syrjällään

kc,90 = 1,4, kun Kerto-LVL on lappeellaan

Kun palkki on **erillisillä tuilla ja l1 ≥ 2h**, ks. kuvaa 6.2b, kertoimen kc,90 arvona käytetään lukua:

kc,90 = 1,5, kun puu on havupuista sahatavaraa — Kuva 6.2b

kc,90 = 1,75, kun puu on havupuista liimapuuta, jos l ≤ 400 mm



Kuva 6.2

Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 4	Sivu	1 / 1
	Sisältö	**Taivutus**		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy2009

Taivutuksen mitoitusehdot:

SFS-EN 1995-1-1

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$ 6.11

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,y/z,k}}{\gamma_M}$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$ 6.12

Myös kiepahdus tulee tarkistaa (kts. Tietolehti 8)

* σm,y,d ja σm,z,d ovat jännitysten mitoitusarvot pääakselien suhteen tapahtuvassa taivutuksessa kuten näytetty tietolehdessä 1
* fm,y,d ja fm,z,d ovat vastaavien taivutuslujuuksien mitoitusarvot

Kertoimen km avulla otetaan huomioon jännitysten uudelleen jakautuminen ja poikkileikkauksen materiaalin epähomogeenisuuden vaikutus

suorakaidepoikkileikkaus: $k_m = 0{,}7$
muut poikkileikkaukset: $k_m = 1{,}0$
} sahatavaralle, liimapuulle jaLVL:lle

Muissa puisissa rakennetuotteissa poikkileikkauksesta riippumatta km = 1,0.

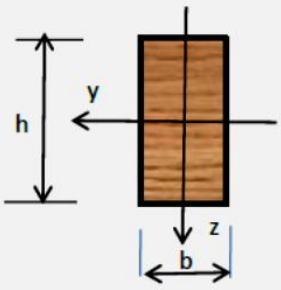
$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1{,}3 \quad \text{sahatavara kun } h < 150 \text{ mm}$$

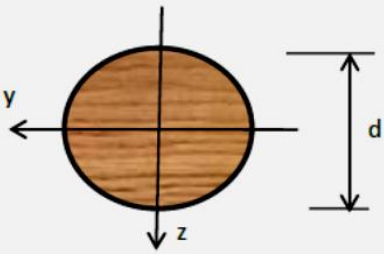
$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1{,}1 \quad \text{liimapuu kun } h < 600 \text{ mm}$$

$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^{s} \leq 1{,}2 \quad \text{LVL}$$

h on taivutetun poikkileikkauksen korkeus

Kerto-S s =0,12
Kerto-T s =0,15
Kerto-Q s=0,12





Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 5	Sivu	1 / 1
	Sisältö	Leikkaus		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Kun voimatila on sellainen, että leikkausjännityksellä on kuvan 6.5(a) mukaisesti syysuuntaisessa tasossa syysuuntainen komponentti tai kun leikkausjännityskomponentit ovat kummassakin syysuuntaisessa tasossa kuvan 6.5(b) mukaisesti kohtisuorassa syysuuntaa vastaan, tulee seuraavan ehdon toteutua:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} \qquad 6.13$$

τd on leikkausjännityksen mitoitusarvo
fv,d on vallitsevaa tilannetta vastaava leikkauslujuuden mitoitusarvo

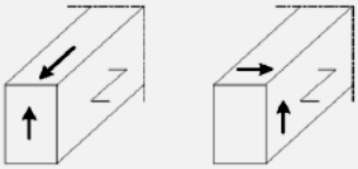
Halkeamien vaikutuksen huomioiminen taivutetuissa sauvoissa lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusolosuhteissa:

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b \qquad 6.13a$$

Kertoimen kcr suositusarvot:

kcr = 0,67	sahatavaralle ja liimapuulle yleensä
kcr = 1,0	puulle, joka on käsitelty kosteuden siirtymistä estävällä pintakäsittelyllä
kcr = 1, 0	kun sauva on muuta standardin EN 13986 tai EN 14374 mukaista puutuotetta (puulevyt ja LVL)

Pysyvästi käyttöluokkaa 2 tai 3 vastaavissa kosteusoloissa oleville puurakenteille saadaan käyttää arvoa kcr = 1,0.



Kuva 6.5 (a) Sauva, jossa on syysuuntainen leikkausjännityskomponentti (b) Sauva, jossa molemmat leikkausjännityskomponentit ovat syysuuntaa vastaan kohtisuoria (vuosilustopinnan leikkautuminen).

Leikkauslujuus vuosiluston leikkautuessa eli kevät- ja kesäpuun rajapinnassa on likimain kaksinkertainen verrattuna vetolujuuteen syysuuntaa vastaan kohtisuorassa vedossa

Tukien lähellä palkin yläpintaan enintään etäisyydellä h tai hef tuen reunasta kuvan 6.6 mukaisesti vaikuttavaa osaa pistekuormasta F ei tarvitse ottaa huomioon. Tuen kohdalta lovetuilla palkeilla tämä leikkausvoiman pienennys otetaan huomioon vain silloin, kun lovi on tukeen nähden vastakkaisella puolella

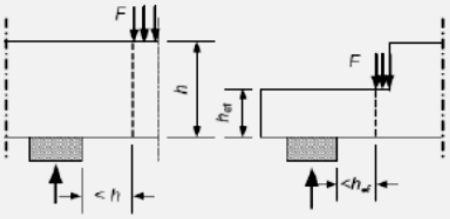


Figure 6.6 – Conditions at a support, for which the concentrated force *F* may be disregarded in the calculation of the shear force

Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 7	Sivu	1 / 1
	Sisältö	Yhdistetty veto ja taivutus		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Mitoitusehdot:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \qquad f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,y/z,k}}{\gamma_M}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \le 1 \qquad f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_l \cdot k_{sys} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

SFS-EN 1995-1-1 (6.17) ja (6.18)

RIL 205-1-2007

jännitysten laskenta, kts. Tietolehti 1

Sahatavaralle, liimapuulle ja LVL:lle:

suorakaidepoikkileikkaus: k_m = 0,7

muut poikkileikkaukset k_m = 1,0

Muille puupohjaisille materiaaleille kaikilla poikkileikkauksilla k_m = 1,0.

Jos vedetyn LVL-sauvan pituus yli 3 000 mm vetolujuuden ominaisarvoa pienennetään ja jos pituus on alle 3 000 mm suurennetaan kertoimella k_l

$$k_l = \left(\frac{3000}{l}\right)^{s/2} \le 1{,}1$$

taivutus- ja syiden suuntaisen vetolujuuden modifiointikerroin k_h

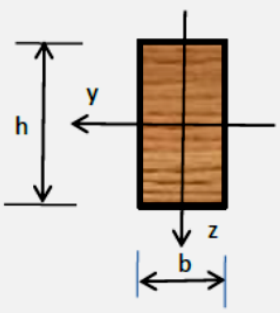
$$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0.2} \le 1{,}3 \quad \text{sahatavara}$$

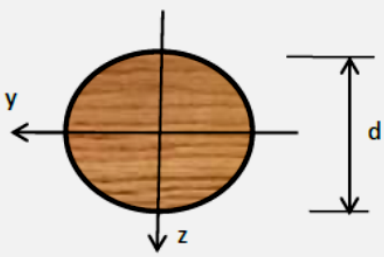
$$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0.1} \le 1{,}1 \quad \text{liimapuu}$$

$$k_h = \left(\frac{300}{h}\right)^{s} \le 1{,}2 \quad \text{LVL}$$

Kerto-S	s =0,12	LVL, jos h on yli 300 pienennyskerr.
Kerto-T	s =0,15	LVL, jos h on yli 300 suurennuskerr.
Kerto-Q	s=0,12	

(LVL: k_h vetolujuudelle $f_{t,0,k}$ on 1,0 !!)





Puurakenteet 1 Seinäjoen ammattikorkeakoulu SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Rakennustekniikka	Dokumentti	Tietolehti 8	Sivu	1 / 1
	Sisältö	Yhdistetty puristus ja taivutus (ei nurj. eikä kiep.)		
	Viite	SFS-EN 1995-1-1+A1+AC, RIL 205-1-2007,Tietolehti 1		
	Laatija	Heikki Ylihärsilä	Pvm	Syksy 2009

Kun sekä $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ että $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ ei nurjahdusvaaraa

Nurjahdusvaara, kts. Tietolehti 9

Mitoitusehdot:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

SFS-EN 1995-1-1

(6.19) ja (6.20)

RIL 205-1-2007 s. 72

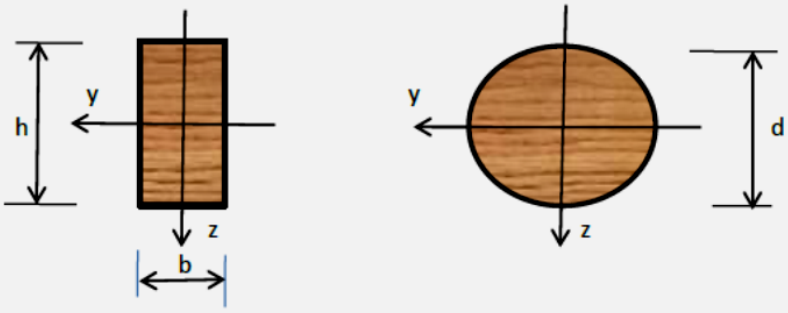
HUOM ! Modifiointikertoimet lujuuksien määrittämisessä !

Sahatavaralle, liimapuulle ja LVL:lle:

suorakaidepoikkileikkaus: k_m = 0,7

muut poikkileikkaukset k_m = 1,0

Muille puupohjaisille materiaaleille kaikilla poikkileikkauksilla k_m = 1,0.



HUOM. Kohdassa 6.3 esitetään menetelmä sauvojen epälineaarisen toiminnan tarkasteluun. Kts. Tietolehdet 9 ja 10.